

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1929

THÈSE

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

MARCU TARNAUCEANU

Né à Dorohoi (Roumanie), le 5 Décembre 1888

ÉTUDE

sur les Modifications de la Chronaxie Neuro-Musculaire

FAR

REFROIDISSEMENT D'UN MEMBRE

CHEZ

L'HOMME NORMAL

Président : M. GUILLAIN, Professeur

PARIS

AMÉDÉE LEGRAND, ÉDITEUR

93, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1929

012

THÈSE
POUR
LE DOCTORAT EN MÉDECINE

ANNÉE 1929

THÈSE

N° _____

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

MARCU TARNAUCEANU

Né à Dorohoi (Roumanie), le 3 Décembre 1888

ÉTUDE

sur les Modifications de la Chronaxie Neuro-Musculaire

FAR

REFROIDISSEMENT D'UN MEMBRE

CHEZ

L'HOMME NORMAL

Président : M. GUILLAIN, Professeur

PARIS

AMÉDÉE LEGRAND, ÉDITEUR

91, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1929

I. — PROFESSEURS

MM.

Anatomie.	ROUVIERE.
Anatomie médico-chirurgicale et chirurgie expérimentale	CUNÉO.
Physiologie.	ROGER.
Physique médicale.	STROHL.
Chimie médicale.	DESGREZ.
Bactériologie.	LEMIERRE.
Parasitologie et histoire naturelle médicale.	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générales.	Marcel LABBÉ.
Pathologie médicale.	N...
Pathologie chirurgicale.	LECÈNE.
Anatomie pathologique.	ROUSSY.
Histologie.	CHAMPY.
Pharmacologie et matière médicale.	TIFFENEAU.
Hydrologie, thérapeutique et climatologie	M. VILLARET.
Thérapeutique.	LœPER.
Hygiène	TANON.
Médecine égale.	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie.	MÉNÉTRIER.
Pathologie expérimentale et comparée.	RATHERY.
	CARNOT.
Clinique médicale.	BEZANÇON.
	ACHARD.
	N...
Hygiène et clinique de la première enfance.	LEREBoullet.
Clinique des maladies des enfants.	NCBÉCOURT.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale.	
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.	H. CLAUDE.
Clinique des maladies du système nerveux.	GOUGEROT.
Clinique des maladies infectieuses.	GUILLAIN.
Clinique de la tuberculose	TEISSIER.
	Léon BERNARD
	DEL BET.
Clinique chirurgicale.	HARTMANN.
	LEJARS.
	GOSSET.
Clinique ophtalmologique.	TERRIEN.
Clinique urologique	LEGUEU.
	COUVELAIRE.
Clinique d'accouchements	BRINDEAU.
	JEANNIN.
Clinique gynécologique.	J.-L. FAURE.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie.	OMBRÉDANNE.
Clinique thérapeutique médicale.	VAQUEZ.
Clinique oto-rhino-laryngologique.	SEBILEAU.
Clinique thérapeutique chirurgicale.	Pierre DUVAL.
Clinique propédeutique	SERGENT.
Professeur sans chaire.	BRANCA.



II. — AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.

ABRAMI	Pathologie médicale.
ALAJOUANINE	Neurologie et psychiatrie.
AUBERTIN	Pathologie médicale.
BASSET	Pathologie chirurgicale.
BAUDOUIN	Pathologie médicale.
BINET	Physiologie.
BLANCHETIÈRE	Chimie biologique.
BROCC	Pathologie chirurgicale.
BRULÉ	Pathologie médicale.
CADENAT	Pathologie chirurgicale.
CHABROL	Pathologie médicale.
CHIRAY	Pathologie médicale.
CLERC	Pathologie médicale.
DEBRÉ	Hygiène.
DOGNON	Physique.
DONZELOT	Pathologie médicale.
DUVOIR	Médecine légale.
ÉCALLE	Obstétrique.
FIESSINGER	Pathologie médicale.
GARNIER	Pathologie expérimentale.
GATELLIER	Pathologie chirurgicale.
GIROUD	Histologie.
HARVIER	Pathologie médicale.
HEITZ-BOYER	Urologie.
HOVELACQUE	Anatomie.
HUTINEL	Pathologie médicale.

MM.

JOYEUX	Parasitologie.
LABBÉ (Henri)	Chimie biologique.
LARDENNOIS	Pathologie chirurgicale.
LEMAITRE	Oto-rhino-laryngologie.
LEROUX	Anatomie pathologique.
LÉVY-SOLAL	Obstétrique.
LHERMITTE	Pathologie mentale.
LIAN	Pathologie médicale.
MATHIEU	Pathologie chirurgicale.
METZGER	Obstétrique.
MONDOR	Pathologie chirurgicale.
MOURE	Pathologie chirurgicale.
MULON	Histologie.
OBERLING	Anatomie pathologique.
OLIVIER	Anatomie.
PHILIBERT	Bactériologie.
QUÉNU	Pathologie chirurgicale.
RICHET Fils	Physiologie.
SÉZARY	Dermatologie et syphiligraphie.
VALLERY-RADOT (Pasteur)	Pathologie médicale.
VAUDESCAL	Obstétrique.
VELTER	Ophthalmologie.
VERNE	Histologie.

III. — AGRÉGÉS RAPPELÉS A L'EXERCICE

pour le service des examens

MM.

BUSQUET	Pharmacologie.
GUÉNIOT	Obstétrique.
LEQUEUX	Obstétrique.

MM.

NEVEU-LEMAIRE	Parasitologie.
RETTÉTERER	Histologie.
ZIMMERN	Physique.

IV. — AGRÉGÉS CHARGES DE COURS DE CLINIQUE

à titre permanent

MM.		MM	
ALGLAVE	Clinique chirurgicale.	LÉRI.	Clinique médicale
AUVRAY.	Clinique chirurgicale.	MOCQUOT. . . .	Clinique chirurgica
CHEVASSU. . . .	Clinique chirurgicale.	PROUST.	Clinique chirurgica
LIGNEL-LAVASTINE. .	Clinique médicale.	SCHWARTZ. . . .	Clinique chirurgica
LE LORIER. . . .	Clinique obstétricale.		

V. — CHARGÉS DE COURS

MM. MAUCLAIRE, agrégé. . . .	}	Chargé du cours de chirurgie orthopédique chez l'adulte pour les accidents du travail les mutilés de guerre et les infirmes adultes.
FREY		Stomatologie.
CHAILLEY-BERT		Éducation physique.
LEDoux-LEBARD		Radiologie clinique.
WEILL-HALLÉ		Puériculture.

Par délibération en date du 9 Décembre 1798, l'Ecole a arrêté que ses opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A LA MEMOIRE DE MA MERE

A MES MAITRES

MEIS ET AMICIS

A MONSIEUR LE PROFESSEUR GEORGES GUILLAIN

PROFESSEUR DE CLINIQUE DES MALADIES

DU SYSTÈME NERVEUX

MÉDECIN DE LA SALPÊTRIÈRE

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

*Pour le grand honneur d'avoir ac-
cepté la présidence de cette thèse,
hommage de profonde reconnais-
sance.*

A MONSIEUR LE DOCTEUR GEORGES BOURGUIGNON

CHEF DE LABORATOIRE
D'ELECTRO-RADIOLOGIE DE LA SALPÊTRIÈRE

*Inspirateur de cette thèse et colla-
laborateur. Hommage de recon-
naissance et d'admiration.*

Préface

A la suite des recherches de L. Lapique et de Mme Lapique sur la chronaxie, le docteur G. Bourguignon a étudié dès le début de 1911, le moyen d'appliquer la chronaxie pour l'étude de l'excitabilité neuro-musculaire en physiologie et pathologie humaine.

Ces recherches lui ont permis, de donner à l'étude de l'excitabilité des nerfs et des muscles, chez l'homme normal et malade, la rigueur d'une expérience de laboratoire.

M. Bourguignon a établi une classification fonctionnelle des nerfs moteurs et des muscles squelettiques de l'homme et montré les rapports qui unissent dans une même région le système moteur et le système sensitif (1).

Depuis des années déjà, le laboratoire d'électro-radiologie de la Salpêtrière m'est largement ouvert.

L'accueil que son chef, le docteur G. Bourguignon, m'a réservé, m'a permis d'étudier l'épreuve de Goetsche dans la Radiothérapie du corps thyroïde (2).

(1) Docteur Bourguignon. — *La Chronaxie chez l'homme*, préface, page II.

(2) M. Tarnauceanu. — Epreuve de Goetsch et Radiothérapie dans les affections du corps thyroïde. — *Journal de Radiologie*, n° 11, novembre 1922.

En 1922, ayant eu l'honneur de travailler comme assistant bénévole, au laboratoire d'électro-radiologie de la Salpêtrière, nous avons commencé l'étude — à l'aide de la chronaxie — des modifications de l'excitabilité neuro-musculaire, produites par refroidissement d'un membre chez l'homme normal.

Une partie de ces recherches faites en collaboration avec le docteur G. Bourguignon sont déjà publiées dans son livre (1).

Par des circonstances indépendantes de notre volonté ces recherches ont été momentanément interrompues.

Nous venons de les reprendre, et c'est l'ensemble de ces études anciennes, complétées par de nouvelles expériences qui fait l'objet de ce travail.

Qu'il me soit permis, d'exprimer ici toute ma gratitude au docteur G. Bourguignon, pour l'amabilité et la bienveillance qu'il m'a toujours témoigné.

(1) G. Bourguignon, — *La Chromaxie chez l'homme*, p. 377-385.

I. — PREMIÈRE PARTIE

**Notions Élémentaires
sur la Chronaxie**

La Chronaxie

Introduction

Dans nos recherches sur les variations de l'excitabilité neuro-musculaire sous l'influence du refroidissement d'un membre chez l'homme normal, les mesures ont été effectuées à l'aide de la chronaxie. Le montage employé est celui du Docteur Bourguignon, montage décrit minutieusement par l'auteur dans son livre *La Chronaxie chez l'homme*, ainsi que dans plusieurs de ses publications. Quoique le sujet de ce travail est limité à des expériences d'électrophysiologie pure, il est indispensable pour l'intelligence des lignes qui vont suivre, de faire une étude élémentaire de la chronaxie. Cette étude est d'autant plus nécessaire que l'électro-diagnostic à l'aide de la chronaxie est trop peu diffusé.

Nombreux sont les médecins, même spécialisés, qui en matière d'électro-diagnostic ont encore recours à la méthode classique. L'électro-diagnostic par la méthode classique a rendu et peut rendre encore des services en ce qui

concerne l'appréciation de l'élément *qualitatif* dans l'étude de l'excitabilité neuro-musculaire. Il est actuellement péremptoirement démontré que cette méthode est tout à fait insuffisante quand il s'agit d'effectuer des mesures *quantitatives* précises.

Les mesures en électro-diagnostic classique sont basées sur un principe énoncé par Dubois-Raymond, principe démontré faux par les recherches ultérieures de Fick, Engelmann, Hoorweg, Weiss. Dubois-Raymond disait que la durée de passage du courant ne joue aucun rôle dans l'excitation et que c'était la rapidité de la variation de l'intensité du courant qui produisait l'excitation. Hoorweg et Weiss, par contre, démontrèrent par des expériences précises, que la durée de passage du courant joue le rôle principal dans l'excitation et que la loi de Dubois-Raymond est fausse.

M. L. Lapique et M^{me} Lapique, à la suite de recherches d'électro-physiologie animale ont donné, il y a à peu près 25 ans, une caractéristique de l'excitabilité qu'ils ont appelé « chronaxie ».

M. G. Bourguignon a appliqué « la chronaxie » à l'étude de l'électro-physiologie humaine normale et pathologique. Les patientes recherches qu'il poursuit depuis 15 ans, recherches condensées dans son beau livre : *La chronaxie chez l'homme*, lui ont permis d'apercevoir des horizons nouveaux en pathologie neuro-musculaire.

Toute recherche de mesure quantitative en pathologie nerveuse et musculaire, doit être obligatoirement faite à l'aide de la « chronaxie » et « La chronaxie chez l'homme » reste le livre de chevet de tous ceux qui s'adonnent à cette étude.

C'est à cette source précieuse que j'aurais constamment recours dans les pages qui vont suivre, pages qui ne sont qu'un faible reflet de l'enseignement journalier de M. Bourguignon à la Salpêtrière.

Historique

La chronaxie étant une constante caractéristique de l'excitabilité, voyons sommairement et chronologiquement l'évolution des idées qui aboutiront à cette notion fondamentale de la chronaxie (1).

L'excitabilité, propriété fondamentale de la matière vivante, peut être mise en jeu par différents agents : agents mécaniques, comme un choc, agents chimiques, comme le contact d'un acide ou d'une base ou agents physiques, comme le courant électrique. L'électricité étant plus directement maniable et plus facile à mesurer, c'est à elle qu'on s'est adressé dans l'étude de l'excitabilité neuro-musculaire. On peut dire que dès la découverte de l'électricité les chercheurs ont expérimenté son effet sur les nerfs et les muscles.

C'est Dubois-Raymond le premier (1845-1848) qui, par des recherches faites sur le gastro-cnémien de la grenouille, a cherché de donner une relation numérique entre l'excitant et l'excitation, relation énoncée sous forme de loi : « L'excitation est produite exclusivement par la variation

(1) L'historique de cette question est puisée en partie dans le livre *La Chronaxie chez l'homme*, en partie dans un article de vulgarisation de M. G. Bourguignon, paru dans *Clinique et Laboratoire*, n° 10, du 20 octobre 1927.

d'intensité (plus exactement de densité électrique); le temps de passage du courant ne joue aucun rôle dans l'excitation ».

Il a vu que, du moment que la fermeture ou la rupture du courant étaient brusques, le temps de fermeture était indifférent : l'intensité nécessaire était la même quel que soit le temps de passage du courant (1).

Pour Dubois-Raymond le caractéristique de l'excitabilité, c'est l'intensité qui donne le seuil avec une fermeture où rupture brusque du courant.

Dubois-Raymond, dans ses expériences, employant sa clef manœuvrée à la main, pour produire la fermeture et la rupture du courant, ne pouvait explorer que les temps de passage du courant supérieurs à $5/1000^{\circ}$ de seconde.

Fick en 1863 et Engelmann en 1870 montrèrent en modifiant la technique de fermeture et d'ouverture du circuit que la loi de Dubois-Raymond est fausse quand on raccourcit le temps de passage du courant au-delà d'une certaine limite.

Il y a donc un temps de passage du courant qui sépare les temps plus longs, pour lesquels l'intensité qui donne le seuil est indépendante du temps de passage du courant (loi de Dubois-Raymond) et les temps plus courts pour lesquels l'intensité qui donne le seuil augmente au fur et à mesure que l'on raccourcit le temps du passage du courant. Pour ces temps courts, le temps de passage du courant joue donc un rôle dans l'excitation. La loi de Dubois-Raymond ne tenant pas compte de ces faits est donc fausse (1).

(1) Bourguignon. *Loc. cit.*

Loi d'Hoorweg

Hoorweg (1892) utilisant dans l'excitation la décharge des condensateurs, démontra à son tour, que la loi de Dubois-Raymond est fausse et donna une loi qui porte son nom. Hoorweg opérait sur l'homme dans les conditions habituelles de l'électro-diagnostic, c'est-à-dire avec un circuit de résistance inconnue et qu'il supposait constante pendant toute la durée de l'expérience. Il a démontré le rôle du facteur temps dans l'excitation, mais n'a pu donner une caractéristique de l'excitabilité et nous allons voir pourquoi :

La durée de décharge d'un condensateur dépend de la capacité du condensateur et de la résistance du circuit de décharge et est proportionnelle à ces deux facteurs, c'est-à-dire à leur produit.

La quantité d'électricité d'un condensateur d'autre part, est égale au produit de la capacité par le voltage : $Q = CV$.

Donc, des condensateurs de capacité variable, chargés sous un même voltage constant, se déchargeront dans un circuit de même résistance dans un temps variable.

Les grosses capacités demanderont plus de temps à se décharger que les petites capacités.

Dans une décharge de condensateur, l'intensité du courant de décharge est toujours réglée par la loi d'Ohm :

$$I = \frac{V}{R}$$

Hoorweg opérait dans un circuit de résistance supposée constante. Dans ces conditions l'intensité initiale du courant

de décharge des condensateurs de capacité variable chargés sous le même voltage était toujours la même.

Ce qui variait dans l'expérience d'Hoorweg, c'était la durée de la variation de l'intensité, les petites capacités se déchargeant plus vite que les grandes.

Or, pour Dubois-Raymond, ce qui comptait, c'était la rapidité de la variation d'intensité. Un condensateur de petite capacité devait pour un voltage déterminé, être plus efficace qu'un condensateur de capacité plus grande.

Or, Hoorweg dans ses expériences trouva le contraire et démontra par conséquent que la loi de Dubois-Raymond est fausse. La quantité d'électricité mise en jeu, autrement dit, la durée de passage du courant, avait donc un rôle dans l'excitation.

Mais pour la même durée de décharge, Hoorweg trouvait des capacités variables d'un sujet à l'autre ou d'une région à l'autre. Il ne pouvait donc trouver une capacité caractéristique de l'excitabilité, et cela se comprend aisément, Hoorweg opérant dans les conditions ordinaires de l'électro-diagnostic, supposait la résistance R du sujet constante mais inconnue. Or, la résistance R du sujet est une chose très variable et cela nous fait comprendre pourquoi Hoorweg trouvait des capacités variables pour une même durée de décharge de condensateur.

Hoorweg a cherché les voltages nécessaires pour avoir le seuil avec des condensateurs de capacité différente.

Il a vu, en supposant la résistance R du sujet constante, qu'il y a une capacité-limite qui sépare les petites capacités où il faut augmenter le voltage pour obtenir le seuil au fur et à mesure qu'on diminue les capacités, des grandes capa-

cités ou le voltage liminaire ne change pas quelle que soit la capacité employée.

Il a construit la courbe des variations des voltages liminaires et des quantités d'électricité correspondante, en fonctions des capacités, et a donné une loi mathématique *la loi d'Hoorweg*, loi, qui n'est qu'approchée comme l'a montré Lacpicque (voir fig. 1).

La courbe d'Hoorweg est une hyperbole équilatère dont les asymptotes sont l'axe des ordonnées et une parallèle à l'axe des abscises.

Courbe d'Hoorweg

Explication élémentaire de la loi d'Hoorweg (1).

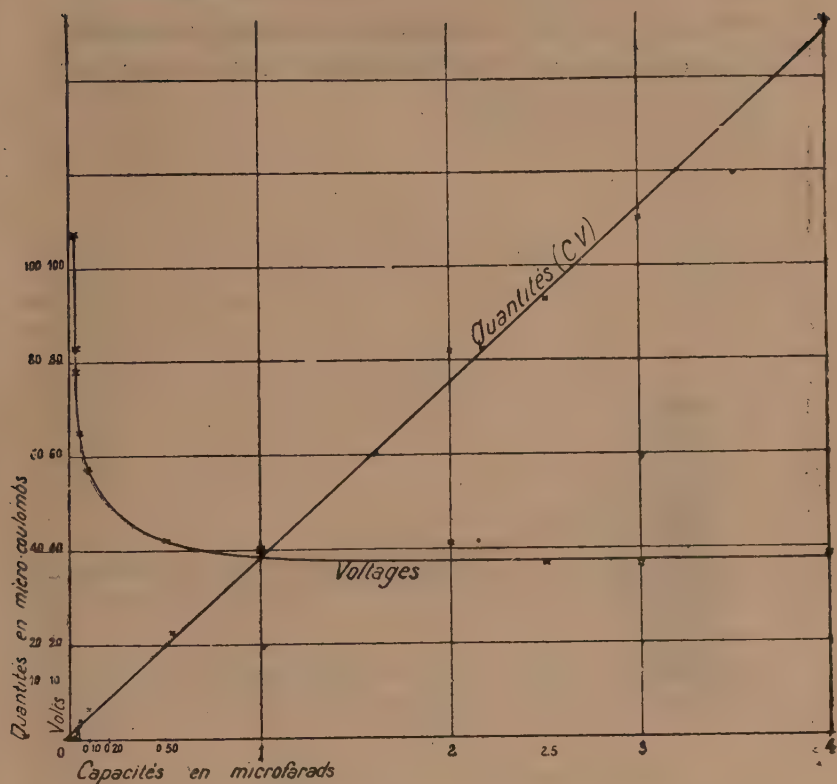


Fig. 1. — Courbe d'Hoorweg. Homme Long supinateur gauche
(point moteur)
 $a=1$ mc. $b=37$ v,5

(1) Une bonne partie des clichés des figures de ce travail appartient à M. Bourguignon et M. Walter. Je leur exprime tous mes remerciements pour leur amabilité.

La courbe d'Hoorweg est une hyperbole équilatère, c'est-à-dire une hyperbole dont les axes sont perpendiculaires.

Représentons très simplement une courbe d'Hoorweg avec les capacités sur l'axe des abscisses et les voltages sur l'axe des ordonnées (Fig. 2).

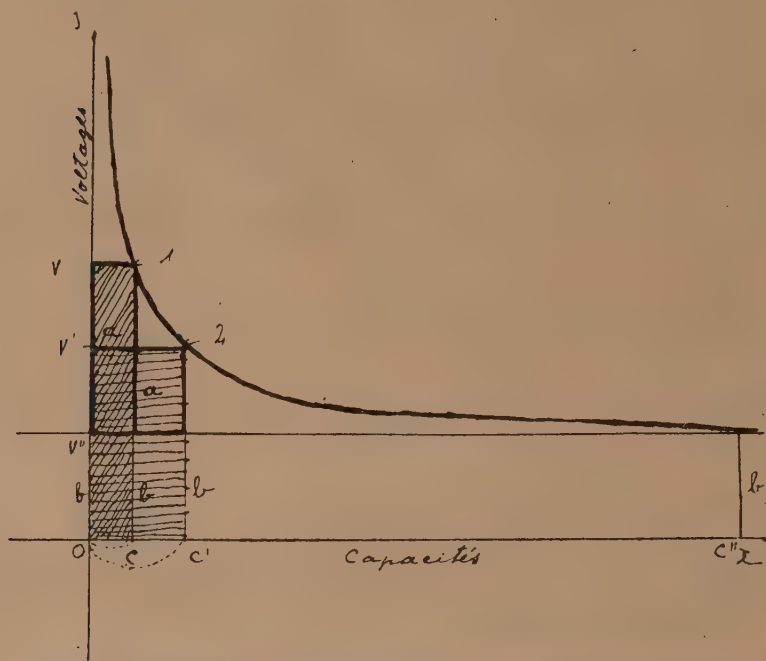


Fig. 2. — Les rectangles en traits pleins et épais représentent les quantités d'électricité de valeur égale et constante a

Si on considère les points 1 et 2 de la courbe et si de ces points on abaisse des perpendiculaires sur l'axe des ordonnées et sur une parallèle à l'axe des x tangente à la courbe, le produit de ces ordonnées est constant (cela résulte de la

définition même de l'hyperbole). Aux points 1 et 2 correspondent sur l'axe des x les capacités C et C' et sur l'axe des ordonnées les voltages V et V' . Désignons le produit constant, par la lettre a .

Nous pouvons écrire : $C (V-b) = C' (V'-b) = C'' (V''-b) = \dots a$.

Le produit de ces ordonnées est une quantité d'électricité, étant donné qu'il est le produit d'une capacité par un voltage; quantité constante a .

Divers auteurs et M. Bourguignon ont trouvé expérimentalement que la quantité a est approximativement constante. Dans la formule précédente b est le voltage liminaire pour une capacité infinie.

Or sur la figure 2 nous avons :

$$(1) VC = a + bc$$

le produit VC du voltage par la capacité est une quantité d'électricité et la relation (1) exprime la loi des quantités. De la relation (1) on tire

$$(2) V = \frac{a}{c} + b, \text{ c'est la loi des voltages.}$$

La loi des quantités est représentée sur la fig. 1 par une droite. La loi des voltages c'est l'hyperbole.

La droite de quantité a une ordonnée à l'origine égale à a .

Les deux équations (1) et (2) expriment la loi d'Hoorweg.

Loi de Weiss

En 1901, le Professeur Weiss avec le courant continu a réalisé des ondes rectangulaires de très courte durée. Au moyen d'un pistolet dont la vitesse de la balle est connue, il coupe successivement deux fils. La coupure du premier fil placé en dérivation sur le circuit d'utilisation établit le courant; le deuxième fil placé en série dans le circuit, rompt le courant quand il est coupé. La balle du pistolet coupant les deux fils, établit et rompt le courant dans le circuit d'utilisation et la durée du passage du courant est proportionnelle à l'écartement des deux fils, écartement mesuré en cent. sur une règle graduée. De deux fils le premier est fixe et le deuxième mobile. Pour mesurer des durées de passage du courant aussi courtes, on prend comme unité de temps le $1/1000^e$ de seconde qu'on désigne par la lettre σ (sigma grec).

On a $1\sigma = 0,001$ (Lapicque). Avec le pistolet dont M. Bourguignon se sert à la Salpêtrière, la vitesse moyenne de la balle est de 229 m. à la seconde et le temps de passage du courant par 1cm d'écart des fils est de 0,043 et de 8,6 pour 2 mètres.

Cette durée peut être déterminée expérimentalement au moyen d'un galvanomètre balistique. Le Professeur Weiss opérait sur les nerfs dénudés d'animaux hétérothermes en particulier de la grenouille. En mettant en série avec le tissu de grosses résistances sans selfs, de 100.000 ω à 300.000 ω , les variations de résistance du tissu sont rendues négligeables et on peut substituer la lecture des vol-

tages à la lecture des intensités impossibles avec les courtes durées de passage du courant (1).

Weiss a montré que l'intensité liminaire diminue quand on augmente la durée de passage du courant jusqu'à une intensité liminaire minima qui reste la même, bien qu'on continue à augmenter la durée de passage du courant.

Cette intensité liminaire minima, variable d'ailleurs avec les conditions de l'expérience, est l'ancien seuil de Dubois-Raymond, connu en électro-diagnostic sous le nom de « seuil galvanique ».

Weiss, avec des durées de passage du courant très courtes, arrive au même résultat que Hoorwég avec les condensateurs.

Hoorweg avait trouvé une capacité-limite qui sépare les petites capacités pour lesquelles le voltage donnant le seuil augmente au fur et à mesure que les capacités diminuent, des grandes capacités pour lesquelles le voltage donnant le seuil reste le même quelle que soit la capacité du condensateur employé.

Le Professeur Weiss aussi, trouve un temps-limite qui sépare les durées courtes où l'intensité liminaire augmente quand le temps de passage du courant diminue, des durées longues où l'intensité liminaire est indépendante du temps de passage du courant continu. Ce temps-limite est inférieur à $5/1000^{\circ}$ de seconde (5σ) pour les muscles striés étudiés par Dubois-Raymond et par Weiss.

La technique de Dubois-Raymond ne lui permettant pas d'obtenir des durées plus courtes que $5/1000^{\circ}$ de seconde,

(1) G. Bourguignon. *Loc. cit.*

il ne pouvait trouver que la partie de la loi où le temps n'intervient plus dans l'excitation.

« Les expériences de Dubois-Raymond exactes l'on conduit à une loi fausse parce que l'insuffisance de la technique de son temps ne lui permettait pas d'explorer les durées intéressantes pour le muscle strié, qu'il a étudié, celles pour lesquelles on peut mettre en évidence le rôle du temps dans l'excitation (1)

Weiss a construit la courbe des variations de l'intensité liminaire en fonction du temps de passage du courant.

Cette courbe, comme celle construite par Hoorwég avec les condensateurs est une *hyperbole équilatère*.

(1) G. Bourguignon. — *Clinique et Laboratoire*, n° 10, 20 octobre 1927.

Courbe de Weiss

Explication élémentaire de la loi de Weiss.

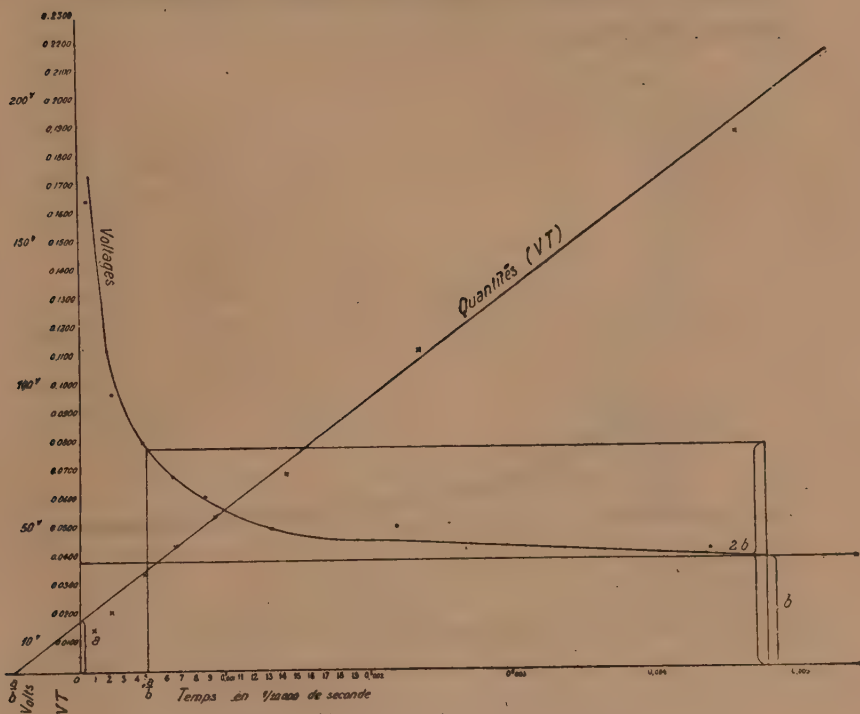


Fig. 3. — Courbe de Weiss. Homme
Extenseur commun des doigts gauche (point moteur)

En portant les temps en abscisses et les intensités en ordonnées on obtient une hyperbole équilatère. Cette hyperbole a pour asymptote une parallèle à l'axe des abscisses dont l'ordonnée représente l'intensité liminaire pour un courant de durée infinie.

La durée-limite à partir de laquelle l'intensité ne varie plus a été nommée par M. Lapicque *temps utile*.

Lorsque on porte en ordonnées les quantités d'électricité liminaires on a une droite. Cette droite prolongée à une ordonnée à l'origine et rencontre l'axe des temps du côté négatif. (Voir fig. 3).

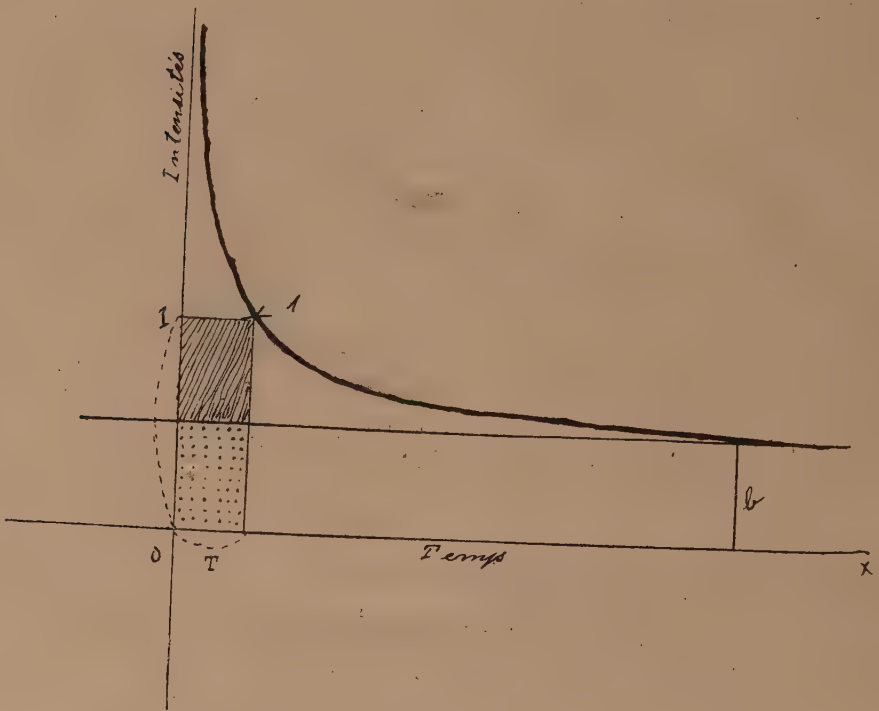


Figure 4

Si comme pour la loi d'Hoorweg nous prenons un point (1) sur l'hyperbole (voir fig. 4) et si de ce point on abaisse ses ordonnées, on obtient une surface de valeur égale au produit des côtés, c'est-à-dire à IT (le produit de l'inten-

sité par le temps). Cette surface peut être considérée comme constituée de deux portions : une portion en pointillé égale au produit bt (b est une constante qui est l'ordonnée de l'asymptote de l'hyperbole, c'est-à-dire pratiquement, la valeur de l'intensité liminaire minima à partir du moment où le temps n'intervient plus dans l'excitation) et une autre portion hachurée que nous appelons a comme nous avons vu sur la fig. 2.

On peut donc écrire :

(1) $IT = a + bt$. IT étant le produit de l'intensité I par le temps T , est une quantité d'électricité et la relation (1) est la loi des quantités.

De cette relation on tire :

$$(2) I = \frac{a}{t} + b, \text{ c'est l'hyperbole d'intensité.}$$

Dans ces équations t représente le temps de passage du courant, i l'intensité liminaire pour le courant de durée t et a et b deux constantes.

La constante a est une *quantité d'électricité* comme nous avons pu voir sur les figures 2 et 4. C'est aussi l'ordonnée à l'origine de la droite des quantités.

La constante b , comme nous avons montré, est une intensité, intensité liminaire minima, à partir du moment où le temps de passage du courant n'intervient plus dans l'excitation.

Les lois d'Hoorweg et Weiss ont démontré que le temps de passage du courant et par conséquent, la quantité d'électricité, intervient dans l'excitation.

L'excitabilité ne peut donc pas être mesurée par une intensité comme pensait Dubois-Raymond et comme on fait encore en électro-diagnostic classique.

L'excitabilité ne peut être caractérisée que par une relation entre l'intensité et le temps de passage du courant. C'est là toute la différence entre l'électro-physiologie d'avant Hoorweg et l'électrophysiologie moderne (1).

(1) Bourguignon. *Loc. cit.*

La Chronaxie

La valeur absolue des constantes a et b de la loi Weiss, varie avec les conditions expérimentales pour un même sujet d'étude.

Il suffit par exemple de changer la position ou la grandeur des électrodes pour un même muscle ou pour un même nerf, pour trouver des valeurs différentes pour les constantes a et b de la loi et avoir en conséquence des courbes de Weiss dissemblables.

Weiss avait suggéré qu'il faudrait chercher la caractéristique d'excitabilité dans le rapport $\frac{a}{b}$ des constantes de la loi.

M. et Mme Lapique frappés par ce fait que le temps-limite qui sépare les durées longues pour lesquelles le temps de passage du courant n'intervient pas dans l'excitation des durées courtes pour lesquelles il intervient, est variable avec les différents tissus, examinés, mais très constant pour un même sujet d'études, songèrent à mesurer ce temps-limite et à le prendre comme caractéristique de l'excitabilité.

Le temps-limite est le temps le plus petit capable de donner une excitation avec la même intensité qu'un courant

très prolongé. Il suffit donc de chercher l'ancien seuil galvanique, puis de diminuer par un procédé quelconque, pistolet de Weiss, ou égersimètre de Strohl etc. le temps du passage du courant jusqu'à ce que l'excitation soit inefficace. Le temps le plus court efficace est le temps caractéristique que M. et M^{me} Lopicque ont appelé « temps utile ».

Or, la détermination pratique de ce temps utile est peu précise en raison du fait qu'il correspond au point où la courbe de Weiss ou d'Hoorweg vient mourir sur la droite qui représente l'intensité indépendante du temps de passage du courant et que le point où une courbe vient mourir sur une droite n'est jamais facile à préciser. Si au contraire, on prend comme caractéristique le temps de passage du courant donnant le seul avec une intensité plus grande que celle pour laquelle le temps n'intervient pas dans l'excitation, on tombe dans la courbe de Weiss, et le temps peut être mesuré avec une grande précision. Pour comparer le temps caractéristique de plusieurs excitabilités, il faut chercher le temps de passage du courant donnant le seuil avec une intensité située au même point de la courbe de Weiss. Pour avoir une intensité située au même point de la courbe de Weiss il suffit de prendre une intensité toujours dans le même rapport avec l'intensité indépendante du temps de passage du courant, c'est-à-dire avec la droite sur laquelle vient mourir la courbe (1).

Lopicque appelle l'intensité qui donne le seuil indépendant du temps de passage du courant (seuil de Dubois-Raymond, seuil galvanique), Rhéobase ou seuil fondamental et prend comme temps caractéristique le temps qui don-

(1) Bourguignon. *Loc. cit.*

ne le seuil avec une intensité double de la Rhéobase, temps qu'il appelle « Chronaxie » et qu'il désigne par τ .

Ce temps qui caractérise l'excitabilité a une valeur très rapprochée de celle du rapport $\frac{a}{b}$ des paramètres de la loi de Weiss.

En effet, si on étudie l'excitabilité sur un même muscle ou sur un même nerf, mais en faisant varier les conditions de l'expérience on trouve des paramètres a et b différents, c'est-à-dire plusieurs courbes de Weiss.

Mais si on regarde les graphiques d'une telle expérience. (Voir fig. 5 (1)) on est frappé de ce fait que les courbes sont parallèles entre elles et que les droites convergent vers un point situé sur l'axe des temps du côté négatif. *Donc il existe un temps commun.* C'est le temps pour lequel la quantité d'électricité est nulle.

Si maintenant dans la formule de Weiss $q = a + bt$ on fait $q = 0$,

on a $a + bt = 0$, d'où

$$t = -\frac{a}{b}$$

C'est donc le rapport $\frac{a}{b}$ des constantes de la loi de Weiss qui caractérise l'excitabilité. Ce rapport étant le quotient d'une quantité a par une intensité b , est un temps, temps t caractéristique de l'excitabilité.

(1) La figure 5 reproduit le graphique donné par M. Bourguignon dans l'article : « Chronaxie », du *Nouveau Traité de Médecine*, fascicule XVIII.

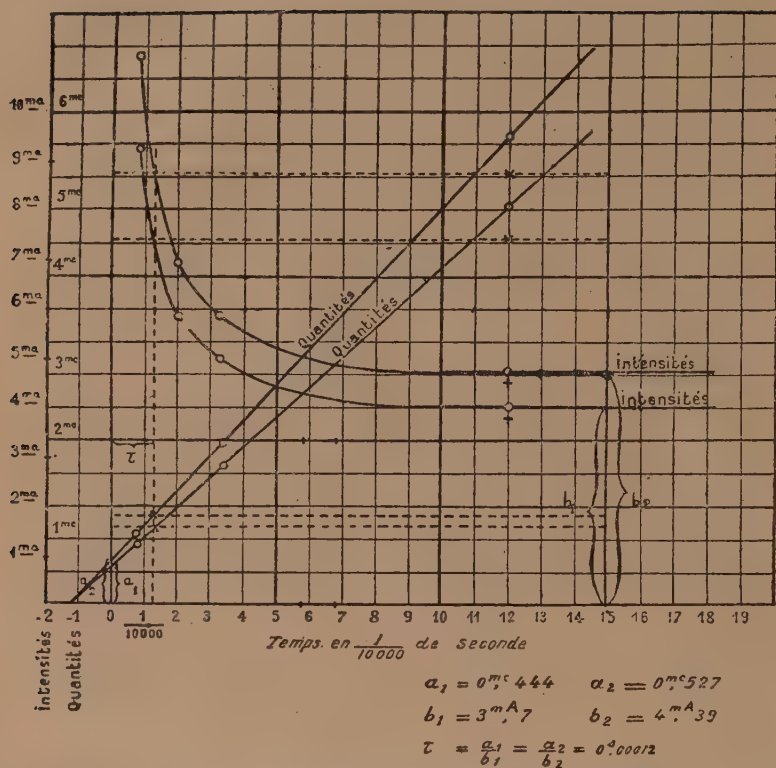


Fig. 5. — Deux lois de Weiss obtenues sur le même muscle pour deux situations différentes de l'électrode active. — Homme. Long supinateur gauche.

si $t = \frac{a}{b}$ la formule de Weiss $i = \frac{a}{t} + b$ devient :

$$i = \frac{\frac{n}{a}}{b} + b = 2b.$$

b étant le seuil galvanique ou Rhéobase de Lapicque, on trouve dans cette formule et la raison théorique et la commodité pratique de prendre comme temps *caractéristique*, le

temps qui donne le seuil avec une intensité double de la Rhéobase b .

De même si dans la formule de Weiss :

$$i = \frac{a}{t} + b \text{ on divise par } b, \text{ on a : } \frac{i}{b} = \frac{a}{bt} + \frac{1}{b} \text{ ou}$$

$$i = b \left(\frac{a}{bt} + 1 \right) \text{ et en remplaçant } \frac{a}{b} \text{ par sa valeur } \tau \text{ on a :}$$

$$i = b \left(\frac{\tau}{t} + 1 \right), \text{ il est facile de voir que } i = 2b \text{ quand } t = \tau.$$

Mais les lois de Weiss et de Hoorweg ne sont que des lois approchées. M. et Mme Lapicque ont montré que la droite des quantités dans les deux lois n'est une droite qu'entre deux limites. Au delà de ces limites qui correspondent à des temps très longs et très courts, on a des capacités très grandes et très petites, la droite devient courbe. Ils ont proposé de substituer aux caractéristiques d'excitabilité tirées de la loi d'excitation sujette à discussion, une définition empirique de ces caractéristiques. Ils disent que l'excitabilité est caractérisée par deux paramètres : Rhéobase et Chronaxie dont on peut donner comme ils l'ont fait une définition empirique :

La Rhéobase ou seuil fondamental est l'intensité nécessaire pour obtenir le seuil de la contraction avec une fermeture prolongée du courant continu (seuil galvanique classique).

La « Chronaxie » est le temps de passage du courant nécessaire pour obtenir le seuil de la contraction avec une intensité double de la Rhéobase.

La Rhéobase varie avec les conditions expérimentales (surface des électrodes, pression des électrodes, distance des électrodes, etc.).

La chronaxie est indépendante de ces facteurs et ne varie qu'avec les causes qui font varier l'excitabilité comme la température par exemple.

Pratiquement, pour connaître la chronaxie, on cherche d'abord le seuil galvanique, puis on double le voltage limite et on cherche le temps de passage du courant nécessaire pour avoir le seuil avec le voltage double de celui de la rhéobase. Pour mesurer le temps de passage du courant on peut employer un appareil donnant des ondes rectangulaires de durées connues, comme le pistolet de Weiss, le chronaximètre de Lapique ou l'égersimètre du Prof. Strohl. On peut aussi employer la décharge de condensateur pourvu que le circuit ait une résistance invariable et connue. Lapique a montré qu'en introduisant dans la formule le produit RC de la capacité C par la résistance R du circuit, comme l'a fait Hoorweg, on y introduit la notion de durée et on la rend ainsi homologue à la loi de Weiss.

Pour avoir une résistance à peu près invariable et connue, Lapique a constitué un circuit tel que sa résistance soit indépendante de celle du tissu en expérience. Pour cela il met 10.000ω en série avec le tissu, une résistance de 3.000ω en dérivation sur ce système et une résistance de 7.000ω en série avant la bifurcation du circuit. La résistance de 3.000ω étant très petite par rapport à la somme de la résistance du tissu et de la résistance en série avec lui, la portion bifurquée du circuit a sensiblement une résistance réduite égale à 3.000ω .

La résistance totale du circuit est donc sensiblement de $3.000 \, \omega + 7.000 \, \omega = 10.000 \, \omega$ à $1/10$ près. Il est donc facile à connaître le produit RC. Lapicque a montré qu'on peut transformer en durée de courant continu le produit RC pour la capacité qui donne le seuil, capacité appelée par M. Bourguignon, capacité chronaxique ou $C \, \tau$.

On peut écrire : $\tau = RC \, \tau \times K$.

K étant une constante.

Pour mesurer la chronaxie avec les condensateurs, on cherche d'abord le voltage rhéobasique, puis on cherche la capacité liminaire avec un voltage double de celui de la rhéobase.

La valeur de la constante K a été déterminée expérimentalement par M. Lapicque et trouvée égale à 0,37.

La chronaxie a donc comme valeur le produit de la résistance par la capacité chronaxique et par 0,37.

$$\tau = RC \, \tau \times 0,37.$$

M. Lapicque, en étudiant la chronaxie dans la série animale a donné une série de lois de physiologie générale qu'on peut résumer ainsi (1).

1. La chronaxie caractérise l'excitabilité et ne varie pas avec les conditions expérimentales, tant que celles-ci n'agissent pas sur l'excitabilité elle-même.

2. La chronaxie classe les muscles des animaux comme les classe la durée de leur contraction, mais avec beaucoup plus de précision.

(1) G. Bourguignon. — *La Chronaxie chez l'homme*.

Non seulement la chronaxie varie avec la durée de la contraction, mais elle varie dans le même sens que le temps perdu et en sens inverse du rythme du tétanos. C'est dire que la chronaxie exprime toutes les propriétés fonctionnelles du nerf et du muscle.

3. Un muscle et son nerf moteur ont la même chronaxie. C'est la loi de l'*isochronisme du nerf moteur et du muscle*.

Lorsque la chronaxie de l'un des deux organes varie seule, il y a inexcitabilité par le nerf lorsque le rapport des chronaxies du nerf et du muscle dépasse 2. M. et Mme Lapicque ont démontré ce fait avec le curare et avec la strychnine. Ils ont vu que le curare augmente la chronaxie du muscle sans modifier celle du nerf, et que la strychnine diminue la chronaxie du nerf sans modifier celle du muscle.

L'excitation du muscle par le nerf exige, en quelque sorte, la *résonance* des deux organes.

L'*isochronisme* est la condition de leur fonctionnement, qui n'est compatible qu'avec un *hétérochronisme* ou une discordance légère.

En étendant à tout le système nerveux cette notion de l'*harmonie* des chronaxies, L. Lapicque a émis une théorie générale (1) très ingénieuse, qui permet de se rendre compte des lois des réflexes et du fonctionnement de tout le système nerveux. On peut la résumer en disant que les neurones agiraient les uns sur les autres suivant le rapport de leur chronaxie (2).

(1) L. Lapicque. — *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 15 février 1910.

(2) G. Bourguignon. — *La Chronaxie chez l'homme*, page 11.

Les Travaux de G. Bourguignon

La Chronaxie chez l'homme

Antérieurement à G. Bourguignon, des tentatives d'application de la chronaxie chez l'homme ont été faites par Doumer et Cluzet. Mais ces auteurs, travaillant comme Hoorweg, dans les conditions de l'électro-diagnostic classique avec un circuit de résistance variable, n'ont pu voir que les modifications pathologiques grossières. Le docteur Bourguignon s'appuyant sur les beaux résultats de Lapique attaque l'étude de la chronaxie chez l'homme à travers les téguments. La grande difficulté était d'avoir un circuit de résistance pratiquement invariable et connue.

Après beaucoup de recherches, G. Bourguignon adopta le montage en dérivation de Lapique en modifiant la valeur des résistances. Une résistance de 4.000 ω est placée dans le circuit général. Une autre de 11.000 ω est mise en série avec le sujet dans l'une des branches du circuit dérivé; l'autre branche de dérivation est constituée par une résistance de 10.000 ω . De cette manière la résistance du sujet est pratiquement éliminée dans un tel circuit et ce circuit a une résistance pratiquement constante égale à 10.500 ω , quel que soit le sujet ou la région examinée.

La résistance en série avec le sujet peut être abaissée à 6.000 ω quand le seuil galvanique est trop élevé.

Le calcul montre qu'en attribuant au sujet des variations de résistances comprises entre 2.000 ω et 50.000 ω , la résistance réduite varie de 5.650 ω à 8.590 ω et la résistance to-

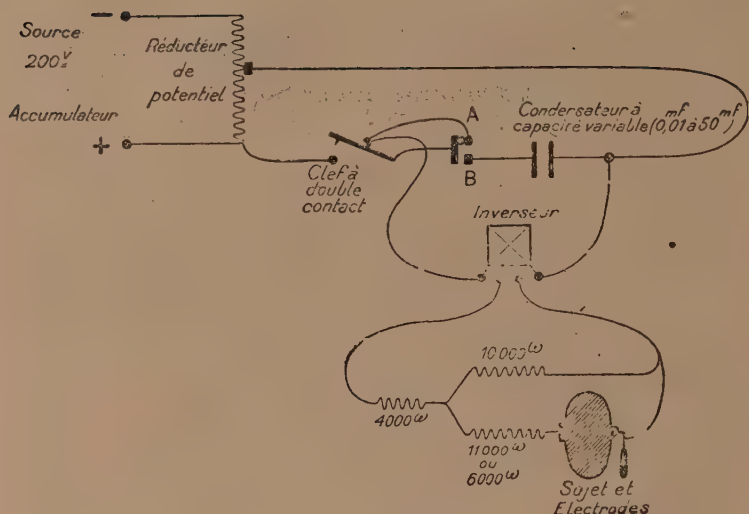


Fig. 6. — Schéma du montage pour la mesure de la chronaxie avec les condensateurs. — Commutateur : Fiche en A : courant galvanique Fiche en B : charge et décharge des condensateurs.

tale varie de 9.650 ω à 12.590 ω , ce qui revient à dire qu'elle est approchée à environ 1/10 près par défaut ou par excès d'une valeur moyenne de 11.000 ω (1).

Comme source d'électricité on prend 200 volts. Pour exprimer en 1/1000^e de seconde la chronaxie mesurée avec les condensateurs, il suffit, puisque la résistance ne varie pas, de multiplier la capacité chronaxique $C\tau$ par un coefficient dont on trouve la valeur en effectuant le calcul de Lapique.

$$1 \text{ mf} \times 10.500 \omega \times 0,37 = 4 \sigma \text{ (4/1000^e de seconde)}$$

(1) Bourguignon. — *La Chronaxie chez l'homme*, page 80.

Il suffit donc de multiplier par 4 la capacité exprimée en microparads pour connaître la chronaxie en $1/1000^{\circ}$ de seconde : $\tau = C \tau \times 4 \sigma$.

La résistance d'un sujet ou d'une région quelconque de l'organisme mis en expérience étant une chose très variable, la première chose à résoudre était de trouver le moyen de rendre cette variation de la résistance négligeable pour les mesures. Il semblait *a priori* qu'on pouvait rendre négligeable la résistance du sujet en mettant comme en physiologie animale une résistance en série juste suffisante pour atténuer considérablement les variations de résistance du sujet et pour avoir des intensités proportionnelles aux voltages dans le rapport de 1 à 2 (voltage rhéobasique). Or, des résistances en série avec le sujet devaient entraîner un voltage liminaire considérable et M. G. Bourguignon s'est imposé comme voltage liminaire maxima le voltage de 200 v. (Un cour-circuit est vite arrivé et par un hasard malheureux le sujet pouvant être lié directement à la source). Les 200 v. sont un maximum permis en se basant sur ce que nous savons sur les accidents de l'électricité (1).

Tout en se limitant à 200 v., il fallait disposer d'un minimum de 15-20 Am. pour avoir des intensités nécessaires à l'excitation de tous les nerfs et muscles normaux et pathologiques. Il fallait donc, comme dit M. Bourguignon, de « *trouver le moyen d'atténuer suffisamment les variations d'intensité dues au sujet pour rendre la mesure de la chronaxie possible, sans que ce moyen entraîne la nécessité*

(1) Bourguignon. — *La Chronaxie chez l'homme*, page 55.



Fig. 7. — Table d'électro-diagnostic de M. G. Bourguignon à la Salpêtrière.

d'employer un voltage supérieur à 200 v. pour obtenir au moins 13 à 20 milliampères dans le sujet ».

Ce problème résolu, il fallait trouver un instrument destiné à fournir les ondes brèves de durée connue. M. Bourguignon a choisi les condensateurs. On peut aussi employer le rhéotome balistique de Weiss, le chronoximètre de Lapique ou l'égèrsimètre de Strohl.

Par de nombreuses expériences, M. Bourguignon est arrivé à une technique et a une instrumentation qui lui donne entière satisfaction comme c'est prouvé par des milliers de mesures faites sur l'homme tant à l'état normal que pathologique (1).

La fig. 7 représente la table construite par M. Bourguignon et avec laquelle il a fait toutes ses recherches sur la chronaxie tant à l'état normal que pathologique. Les différentes pièces de cette table étant amovibles, elle se prête facilement aux différentes combinaisons concernant les recherches de physiologie animale. Les électrodes de M. Bourguignon sont des électrodes de d'Arsonval repris par M. Lapique, de la même forme et des mêmes dimensions que les électrodes employées couramment en électrodiagnostic. Elles sont chlorurées électrolytiquement et recouvertes d'amiante imbibée d'une solution de ClNa à 4 p. 1000 (voir fig. 8.).

M. Bourguignon à la Salpêtrière, pour alimenter sa table et pour avoir le minimum de 200 v. continu, se sert d'une batterie d'accumulateurs de 100 éléments. Cette installation

(1) Je renvoie le lecteur pour ces recherches au livre de M. Bourguignon : *La Chronaxie chez l'homme*.



Fig. 8. — Electrode de M. Bourguignon construites par Walter (Elles se branchent facilement au bout d'un conducteur par fiches à ressort).

une nouvelle table de chronaxie comportant certaines améliorations et simplifications. (Voir fig. 9 et 10).



Fig. 10. — Disposition d'ensemble des appareils. — EN PUPITRE A GAUCHE : appareils de mesure et réducteur de potentiel. — SUR LA TABLE : panneau de commandes à gauche; condensateurs et leurs combinaisons à droite.

Sans entrer dans les détails de construction de cette nouvelle table, je vais indiquer brièvement les modifications qu'elle comporte.

1° *Le doublage automatique du voltage.* — Antérieurement certains auteurs, Tedeschi et Guglielmetti, Lapicque et Gaudou, ont songé à introduire en série avec le réducteur de potentiel, une résistance égale à la sienne, qu'on supprime pour doubler le voltage. Sans lecture, sans manœuvre

du réducteur, on double automatiquement le voltage en changeant tout simplement la position d'une fiche. Ce procédé est applicable aussi bien avec les condensateurs qu'avec les rhéotomes balistiques.

En condensateurs seulement, on peut supprimer même la manœuvre de la fiche. Pour cela, on place en série avec le circuit d'utilisation, entre la source et la clef, une résistance égale à la résistance moyenne du circuit d'utilisation.

Lorsque la clef sert à faire les fermetures et ouvertures du courant continu, le courant traverse le total de ces deux résistances; lorsqu'elle sert à faire les charges et décharges de condensateurs, la résistance additionnelle se trouve dans le circuit de charge, mais elle est exclue du circuit de décharge dans lequel se trouve le sujet. La différence de potentiel agissant effectivement sur le sujet se trouve ainsi doublée, sans aucune lecture, sans aucune manœuvre (1).

2° *Combinaisons de la clef et du renverseur.* — Cette combinaison en réduisant les déplacements de la main manipulatrice, donne plus de fixité à la main qui tient l'électrode.

3° *Source.* — La table peut être alimentée soit par une batterie d'accumulateurs de 200 v., soit par un dispositif nouveau constitué par un bloc redresseur à lampes valves suivi d'un circuit filtre convenablement choisi.

A l'aide de sa technique et de son instrumentation, M. Bourguignon a établi les valeurs de la chronaxie caracté-

(1) G. Bourguignon et André Walter. *Loc. cit.*

ristiques des principaux nerfs et muscles de l'homme. On peut résumer ainsi les résultats de ses recherches (2) :

I. — ETAT NORMAL

1° *Chronaxies motrices,*

« a) Toutes les chonaxies des muscles squelettiques de l'homme, sont comprises entre 00,1 et 00,6.

» b) Pour chaque muscle, la chronaxie est la même pour le muscle excité au point moteur et par son nerf.

» c) Dans chaque segment de membre, tous les muscles synergiques du même mouvement ont la même chronaxie.

» d) Dans chaque segment de membre, les muscles postérieurs ont une chronaxie double de celle des muscles antérieurs. Les faisceaux musculaires postérieurs sont divisés par la chronaxie en deux groupes, les *antagonistes* proprement dits qui exécutent le mouvement opposé à celui que produisent les muscles antérieurs et les *synergiques* des muscles antérieurs qui se contractent en même temps qu'eux et servent à régler leur mouvement en jouant le rôle de freins.

» C'est ainsi que le vaste interne du triceps brachial se contracte pendant la flexion de l'avant-bras et est synergique des fléchisseurs de l'avant-bras. Il a la même chronaxie que ces fléchisseurs, soit 00,1 à 00,3.

(2) G. Bourguignon. — *Clinique et Laboratoire*, 2 octobre 1927, n° 10.

» Au contraire, les deux autres portions du triceps n'agissent que dans l'extension et sont seuls véritablement antagonistes des fléchisseurs, soit 00,2.

» A l'avant-bras, les radiaux jouent le rôle du vaste interne au bras et fixent le poignet pour permettre la flexion des doigts. Ils ont une chronaxie de 00,3, égale à celle des fléchisseurs des doigts.

» Les extenseurs des doigts sont composés chacun de deux faisceaux musculaires ayant chacun leur point moteur : l'un d'eux a la chronaxie de 00,3, égale à celle des fléchisseurs ; l'autre a une chronaxie double de la précédente, soit 00,6. L'un des deux faisceaux est le frein de la flexion, l'autre est le véritable extenseur. Le premier est le synergique des fléchisseurs, de même chronaxie qu'eux ; le deuxième est le véritable antagoniste et à une chronaxie double.

» Dans chaque membre, pour une même fonction, les muscles du segment proximal (bras et épaule, cuisse, cou, tronc) ont une chronaxie plus petite que ceux du segment distal (avant-bras et main, jambe et pied, face). Ces lois se retrouvent avec la même netteté au membre inférieur, au cou, au tronc et à la face et partout les mêmes chronaxies se retrouvent. Il y a donc pour tout le corps 4 chronaxies 00,1 00,2 00,3 0,06 qu'on peut ramener à trois, 00,1, 00,3 et 00,6 entre lesquelles se répartissent, selon les lois que je viens de résumer, tous les muscles striés du corps humain : la chronaxie du triceps brachial, en effet, ne diffère que très peu de celle des fléchisseurs à l'avant-bras et peut-être considérée comme égale ; le triceps n'est classé à part des fléchisseurs qu'en raison de ses fonctions.

» 2° *Chronaxies sensibles.*

» Pour les nerfs sensitifs, les lois sont très simples.

» Les chronaxies sensibles sont les mêmes que les chronaxies motrices, et, dans chaque région la chronaxie des nerfs sensitifs cutanés est la même que celle des muscles sous-jacents.

» Il en résulte que les réflexes sont tout simplement le résultat de la réponse d'un nerf moteur à l'excitation d'un nerf sensitif de même chronaxie.

» La rupture de cet *isochronisme sensitivo-moteur* fait disparaître le réflexe; l'apparition d'*isochronismes anormaux* fait apparaître des réflexes anormaux.

» Le plus bel exemple en est donné par le signe de Babinski qui traduit simplement la substitution de l'*isochronisme* du sciatique poplité interne sensitif avec les extenseurs des orteils à l'*isochronisme* normal du sciatique poplité interne sensitif avec les fléchisseurs des orteils.

3° *Chronaxies sensorielles.*

» L'œil a seul été étudié jusqu'ici. On retrouve ici encore le rapport de la chronaxie avec la fonction. L'œil a deux éléments fonctionnels, le cône et le bâtonnet; les fibres nerveuses du cône, qu'on trouve à la fovea ont une chronaxie moyenne de 25,4, tandis que les fibres nerveuses des bâtonnets, qu'on trouve à la périphérie de la rétine ont une chronaxie de 15,4. Ces chronaxies sont plus grandes que les chronaxies motrices et sensibles générales, ce qui isole les organes sensoriels du reste du système nerveux cérébro-spinal.

CLASSIFICATION FONCTIONNELLE PAR LA CHRONAXIE

I. — Muscles et faisceaux musculaires des membres supérieurs.

ORIGINES RADICULAIRES	MUSCLES	CHRONAXIES	FONCTIONS
C ⁵ C ⁶	Delhoïde		Flexion de l'avant-bras et du bras. + 1 synergique (vaste interne).
	Biceps	0,08	
	Brachial antérieur	à	
	Long supinateur	0,16	
C ⁶ C ⁷	Vaste interne du triceps		Extension de l'avant-bras.
	Vaste externe du triceps	0,16 à	
	Longue portion du triceps	0,32	
	Radiaux		
C ⁸ D ¹	Palmaïres		Flexion de la main et des doigts et pronation + synergiques de la flexion (radiaux). + moitié des fibres des extenseurs.
	Cubital antérieur		
	Fléchisseurs superficiels et profonds		
	Long fléchisseur du pouce		
	Pronateurs		
	Éminence thénar	0,20	
	Adducteur du pouce	à	
	Éminence hypothénar	0,36	
C ⁷	Lombriçaux et interosseux		Extension de la main et des doigts et supination.
	Fibres innervées par les points moteurs inférieurs. Cubital postérieur		
	Extenseurs propres et communs des doigts et du pouce		
	Long abducteur du pouce		
	Court supinateur		
	Fibres innervées par les points moteurs supérieurs. Cubital postérieur		
	Extenseurs propres et communs des doigts et du pouce	0,44	
	Long abducteur du pouce	à	
	Court supinateur	0,72	

II. — Muscles des membres inférieurs.

ORIGINES RADICULAIRES	MUSCLES	CHRONAXIES	FONCTIONS
L ² L ³ L ⁴ ..	Grand fessier		Mouvements d'arrière en avant de la cuisse, de la jambe et du pied. (Partie du jambier antérieur). + 1 synergique (grand fessier).
	Droit antérieur du quadriceps crural		
	Vaste interne		
	Vaste externe	0 σ ,10	
	Couturier	à	
	Grand adducteur	0 σ ,16	
	Moyen adducteur		
	Droit interne		
	Jambier (Point moteur inférieur. antérieur. (Point moteur supérieur.		
L ³ L ⁴ L ⁵ ..	Extenseur commun des orteils...	0 σ ,24	Mouvements d'arrière en avant de la jambe et du pied et des orteils. + 1 synergique (soléaire et plan- taire gr.).
	Extenseur propre du gros orteil...	à	
	Long et court péroniers	0 σ ,36	
	Pédieux		
	Soléaire et plantaire grêle		
L ⁵ L ¹ L ³ ..	Jumeau interne		Mouvements d'avant en arrière de la jambe, du pied et des orteils.
	Jumeau externe		
	Fléchisseurs des orteils	0 σ ,44	
	Muscles de la plante du pied.....	à	
	Biceps crural	0 σ ,72	
	Demi-membraneux		
	Demi-tendineux		Mouvements d'avant en arrière de la cuisse.

III. — Muscles de la face.

NERFS	MUSCLES	Chronaxie en 1/10.000 ^e de seconde	FONCTIONS
Branche inférieure du nerf facial	Orbiculaire de la lèvre inférieure.....		Abaisseurs des traits et faisceaux synergiques des releveurs.
	Carré du menton	0 σ ,20	
	Houppes du menton	à	
Branche supérieure du nerf facial	Sourcilier	0 σ ,36	Releveurs des traits.
	Frontal.....		
	Releveur de l'aile du nez.....	Fibres de petite chronaxie	
	Transverse du nez.....		
	Grand zygomatique.....	Fibres de grande chronaxie	
	Orbiculaire des paupières.....	0 σ ,44	
	Orbiculaire de la lèvre supérieure	à 0 σ ,72	

VI. — Muscle du tronc au double point de vue de leur action dans les mouvements du tronc et dans les mouvements respiratoires.

MUSCLES	FONCTIONS		CHRONAXIES
	1 ^{re} ACTION	2 ^e ACTION	
Grand droit de l'abdomen.....	Fléchisseurs du tronc + faisceaux synergiques.	Abaisseurs des côtes et expirateurs.	0 ⁰ ,08 à 0 ⁰ ,16
Grand oblique de l'abdomen.....			
Transverse de l'abdomen.....			
Long dorsal { Faisceaux impairs....	Extenseurs du tronc.		0 ⁰ ,20 à 0 ⁰ ,36
{ Faisceaux pairs.....			
Masse sacro-lombaire			
Diaphragme		Élévateur des côtes et inspireur	

V. — Muscles de la ceinture scapulaire.

MUSCLES	CHRONAXIE
Trapèze dorsal	0 ⁰ ,08 à 0 ⁰ ,16
Grand pectoral	
Grand dorsal	
Grand dentelé	
Grand rond	
Petit rond	
Sus-épineux	
Sous-épineux	

IV. — Muscles de la mâchoire.

MUSCLES	CHRONAXIES	FONCTIONS
Masséter	0 ⁰ ,44 à 0 ⁰ ,72	Élévateurs de la mâchoire.
Temporal		
Digastrique	0 ⁰ ,20 à 0 ⁰ ,36	Abaisseur de la mâchoire.

4° Chronaxies des nouveau-nés.

» Chez les enfants, à la naissance, les chronaxies sont beaucoup plus grandes que chez l'adulte. Elles diminuent peu à peu, et c'est au moment où les chronaxies atteignent les valeurs de l'adulte que l'enfant marche, c'est-à-dire du quinzième au dix-huitième mois. A ce moment, le réflexe plantaire qui était en extension passe en flexion.

» Cette étude apporte les faits qui appuient l'hypothèse de Lapicque. Tout le fonctionnement du système nerveux s'explique par des phénomènes d'isochronisme et d'hétérochronisme, c'est-à-dire par de véritables résonnances et *l'équilibre des chronaxies traduit l'équilibre du système nerveux.*

II. — ETATS PATHOLOGIQUES

« La pathologie nerveuse s'éclaire singulièrement par la chronaxie. A l'état pathologique la chronaxie, dans certains cas, peut diminuer jusqu'au $\frac{1}{3}$ de sa valeur, dans d'autres augmenter jusqu'à 200 et 300 fois la valeur normale. La dégénérescence transforme les muscles rapides en muscles lents : leur chronaxie augmente parallèlement. Quand la dégénérescence atteint toutes les fibres d'un muscle, on n'y trouve qu'une seule chronaxie. Quand elle n'atteint qu'une *partie* des fibres musculaires, on trouve au moins deux chronaxies : une petite pour les fibres vives et une grande, pour les fibres lentes. Ce fait donne une base solide et précise, à la distinction de la dégénérescence dite *totale* et de la dégénérescence dite *partielle*.

» On peut suivre l'évolution d'une maladie neuro-musculaire par la chronaxie. On peut rapporter à sa vraie cause centrale ou périphérique un signe de Babinski difficile à interpréter, en découvrant le neurone malade par la chronaxie.

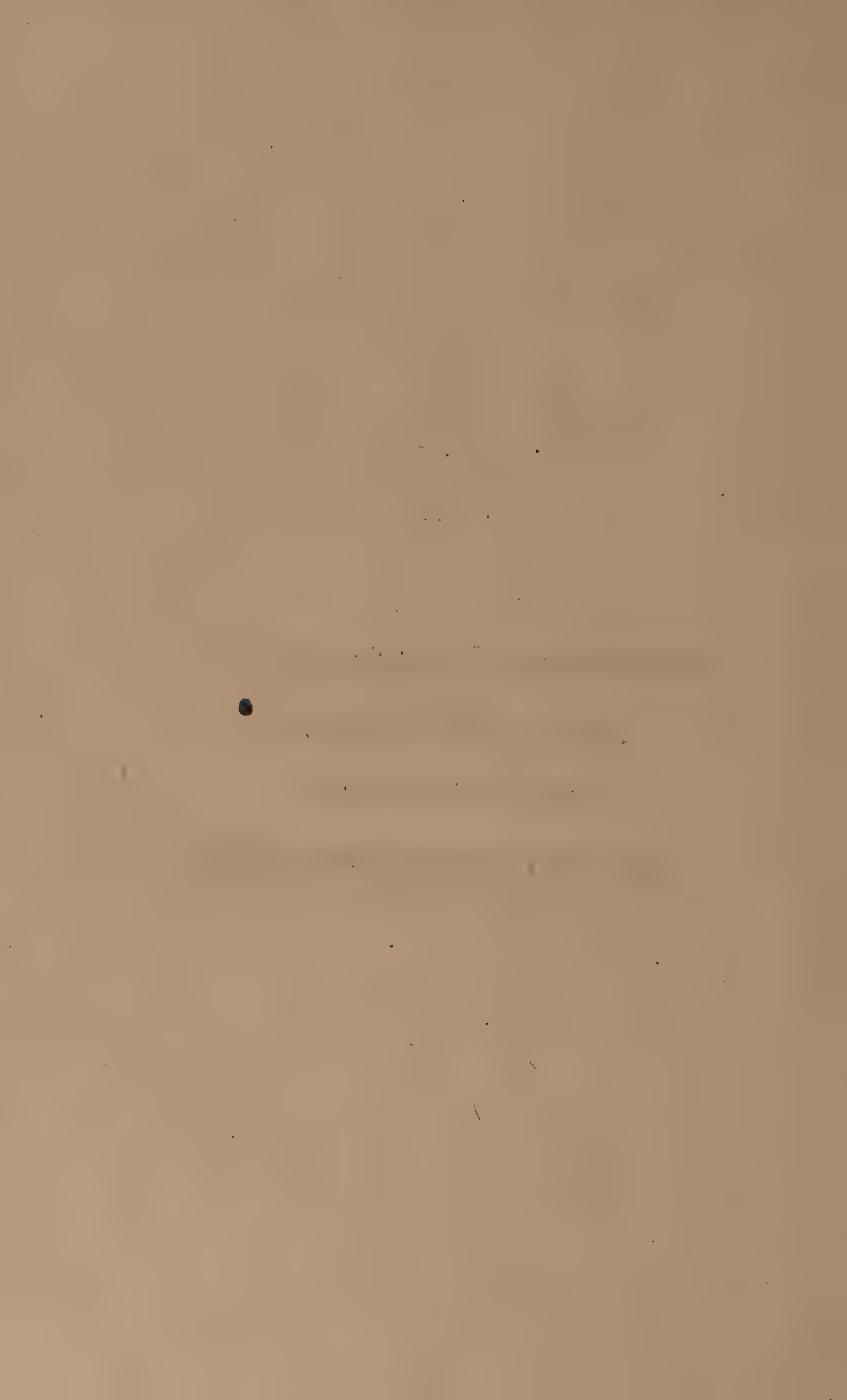
» On s'explique enfin, grâce à la chronaxie, les répercussions à distance, car j'ai démontré que toute lésion d'un neurone retentit sur la chronaxie du ou des neurones ou des muscles qui lui sont fonctionnellement associés. On peut ainsi atteindre indirectement des neurones non directement explorables, comme les neurones centraux. On peut légitimer, par une base objective, des troubles subjectifs ne se traduisant par aucun signe clinique objectif et distinguer ainsi les véritables simulateurs de ceux qui sont atteints de lésions ne donnant que troubles cliniques subjectifs.

» Ces quelques faits, rapidement résumés montrent toute l'importance de cette notion de chronaxie.

» Non seulement elle permet d'édifier tout un nouvel électrodiagnostic de portée beaucoup plus étendue et d'une précision beaucoup plus grande que l'électrodiagnostic classique, mais elle permet de pénétrer avec une finesse extraordinaire dans la connaissance intime du fonctionnement du système nerveux à l'état normal et pathologique.

DEUXIEME PARTIE

**Variations Expérimentales
de la Chronaxie[•]
sous l'influence
d'un Refroidissement local**



**Modifications Expérimentales
de la Chronaxie
Par refroidissement d'un Membre
Chez l'homme normal**

Depuis les recherches de Babinski et d'autres, on sait que le refroidissement chez un sujet sain, peut déterminer l'apparition d'une contraction lente. Mais jusqu'à présent, personne n'a suivi les modifications de l'excitabilité neuromusculaire dues au refroidissement, par une méthode précise de mesure.

En collaboration avec M. Bourguignon, nous avons abordé l'étude de ce problème à l'aide de la chronaxie. Par suite des difficultés matérielles de l'excitation localisée des muscles ou nerfs d'un segment de membre plongé dans l'eau, nous avons dû, au début, nous contenter de l'étude de la chronaxie, à la sorti du bain du côté refroidi. Du côté opposé nous avons pu étudier ce qui se passe aussi bien pendant le bain et après le bain.

Ces expériences ont été publiées dans le livre de M. Bourguignon : *La chronaxie chez l'homme*.

Plus tard, nous avons pu réaliser un procédé permettant de faire des mesures de chronaxie dans l'eau aussi précises

que celles prises dans l'air. Nous avons donc pu compléter nos premières expériences par l'étude des variations de la chronaxie des nerfs et muscles du côté refroidi pendant le bain.

Pour faciliter l'exposé des protocoles d'expériences et pour la commodité de leur interprétation nous allons les exposer non dans l'ordre chronologique mais dans un ordre logique, en établissant pour les différents points envisagés, les divisions suivantes :

A. — EVOLUTION DE LA CHRONAXIE DU COTÉ REFROIDI

1° *Muscles*. — a) Pendant le bain; b) après le bain.

2° *Nerfs*. — a) Pendant le bain; b) à la sortie du bain.

— Au-dessous du niveau de l'eau.

— Au ras de l'eau.

— Au-dessus du niveau de l'eau :

1° Entre la pointe du V deltoïdien et quelques cent. au-dessus du niveau de l'eau.

2° Très au-dessus du niveau de l'eau (dans le creux sus-claviculaire).

B. — EVOLUTION DE LA CHRONAXIE DU COTÉ OPPOSÉ
OU COTÉ REFROIDI

1° *Muscles*. — 1° a) Pendant le bain; b) après la sortie du bain.

Dans nos expériences nous avons surtout étudié les extenseurs et les fléchisseurs à l'avant-bras et le nerf radial. Ce choix fût conditionné par la commodité de l'expérience, un bain froid local étant plus facile à organiser pour l'avant-bras et la partie inférieure du bras. La chronaxie du point moteur supérieur de l'extenseur étant plus grande que celle des fléchisseurs, les variations sont plus faciles à suivre. Nous n'étudierons donc, en détail que les expériences sur les extenseurs, étant entendu que tout ce que nous dirons des extenseurs, s'applique à tous les muscles aux valeurs absolues de la chronaxie près.

A. — DISPOSITION DES EXPERIENCES

Dans presque toutes les expériences de refroidissement, je me suis prêté comme sujet d'étude; ce ne fût qu'à la fin de la troisième série d'expériences, pour des raisons qui seront relatées à temps, que j'étais contraint de les cesser (1). Les mesures étaient prises par M. Bourguignon.

Les résultats de ces mesures, les phénomènes objectifs constatés, ainsi que les sensations subjectives que je ressentais pendant toute la durée d'une expérience et dont je faisais part à M. Bourguignon, étaient immédiatement inscrits par la surveillante du service qui manœuvrait en même temps le réducteur du potentiel, les rhéostats de la boîte des résistances et les fiches des condensateurs. L'eau du

(1) C'est M. Léon Greif, externe du service, qui s'est offert volontairement pour les dernières expériences et dont nous le remercions vivement.

bain froid local, dans lequel est plongé l'avant-bras du sujet, est l'eau telle qu'elle sort du robinet, d'une température aux environs de 8° à 10° . La température de l'eau du bain est abaissée entre 4° - 8° , pour le moment de l'entrée dans le bain, et maintenue constante pendant toute la durée du bain par l'addition de temps en temps des morceaux de glace pour lutter contre l'échauffement de l'eau par le sujet. La main, l'avant-bras, le coude et le bras un peu au-dessus du tiers inférieur sont plongés dans le bain.

La durée de chaque bain est d'environ trois quart d'heure.

Avant l'entrée dans le bain, pour chaque expérience, on prend la *température de la peau* au voisinage du point où doit porter l'excitation, soit du muscle, soit de son nerf moteur. La température est prise avec un thermomètre à mercure à réservoir plat.

De même, on mesure la *chronaxie du sujet* en expérience *avant l'entrée dans le bain*, pour le point moteur, comme pour le nerf, en vérifiant plusieurs fois la rhéobase. Ces vérifications, très bonnes, ne sont pas reproduites dans les tableaux.

Dans la première série d'expériences (1), les mesures étant effectuées sur un muscle hors du bain, les conditions étant les mêmes que pour les mesures habituelles de la

(1) Les résultats des expériences sur l'évolution de l'excitabilité des muscles, au point moteur, pendant et après le bain du côté opposé au côté refroidi, et à la sortie du bain du côté refroidi ont été déjà publiés. (Voir G. Bourguignon : *La Chronaxie chez l'homme*, p. 377-385.)

chronaxie dans l'air, les électrodes employées, étaient les électrodes n° 1 ou n° 2 nues.

Pour les deux autres séries d'expériences, les mesures étant prises sous l'eau, nous avons préalablement déterminé les conditions dans lesquelles on pourrait faire des mesures exactes de chronaxie sur un membre plongé dans l'eau.

On pouvait craindre que la diffusion du courant dans l'eau ne soit une cause d'erreur.

De même on pouvait se demander s'il serait facile de bien voir les seuils sur un membre plongé dans l'eau.

Voici le résumé de cette expérience (21 janvier 1924) :

Expérience préalable nécessaire pour la détermination de la technique à employer dans l'excitation neuro-musculaire faite sur un segment de membre plongé dans un bain.

Seuil de l'extenseur commun, faisceau du 4^e doigt, point moteur supérieur.

Mesures prises avant le bain :

57 volts		1 mA., 9
114 —		0 mf, 16
55 volts		1 mA., 9
110 —		0 mf, 15

Température cutanée à la face postérieure de l'avant-bras, avant le passage du courant : 32°,9.

Entrée dans le bain à 11 h. 55'.

Les mesures dans le bain sont prises avec une électrode habituelle nue. Dans les mesures prises dans l'air à l'avant-bras, on fait reposer le poignet sur un petit coussin de ma-

nière à laisser la main suspendue dans le vide. Cette position facilite beaucoup la perception des seuils, les plus petits mouvements des doigts étant visibles.

~ Dans l'eau, on remplace le coussin par un verre renversé et, si la surface de l'eau est calme et non agitée par de minuscules vagues dues généralement aux mouvements involontaires du sujet en expérience ou aux manipulations nécessaires pour la prise des mesures, on arrive à *voir les seuils beaucoup plus nettement que dans les mesures prises dans l'air.*

Les mouvements trop brusques dans la manœuvre des appareils peuvent ébranler légèrement la petite table sur laquelle repose le bain local et communiquer à la surface de l'eau une faible agitation. Il faut donc exécuter ces manœuvres aussi silencieusement que possible.

L'électrode étant placée sur le point moteur de l'extenseur commun, comme dans la mesure prise hors du bain, on n'obtient aucune contraction avec un courant fort qui donne en dehors du bain des secousses très fortes (plus de 150 volts).

En montant jusqu'à 200 volts, on n'obtient pas dans le bain de secousses dans l'extenseur, mais des légères secousses dans les fléchisseurs et des sensations de fourmillements dans la paume de la main.

Il y a donc une diffusion considérable du courant et l'impossibilité de faire l'expérience dans le bain avec l'électrode nue.

La preuve de cette diffusion est donnée par l'expérience suivante : Sans déplacer l'électrode on compare l'intensité

pour le même voltage, sur la peau non mouillée, sur la peau dans le bain, et sur la peau mouillée à la sortie du bain.

Voltage toujours le même : 56 v.

Intensité sur la peau :

Intensité avant le bain : 1mA,9.

Intensité dans le bain : 2mA,4.

Intensité sur la peau mouillée hors du bain : 2mA,1.

Pour empêcher cette diffusion du courant et pouvoir exciter convenablement les nerfs et les muscles dans l'eau, M. Bourguignon a eu l'idée de garnir complètement l'électrode employée d'une gaine en caoutchouc, de manière à l'isoler aussi bien que possible. Il fait ensuite au centre de l'électrode une légère entaille de la gaine isolante en excisant une petite rondelle de caoutchouc de 3-4 millimètres de diamètre.

Avec l'électrode n° 2, ainsi garnie et isolée, on obtient sous l'eau l'excitation sélective d'un muscle ou d'un nerf donné ; et c'est tellement vraie, qu'un léger fendillement du caoutchouc qui borde la petite surface dénudée de l'électrode suffit, pour faire apparaître la diffusion. Au cours de nos expériences de refroidissement, il nous est arrivé de constater à plusieurs reprises la diffusion du courant dans le bain. Il suffisait de regarnir l'électrode de caoutchouc, pour que l'excitation percutanée des nerfs et des muscles sous l'eau puisse se faire dans des conditions précises.

B. — PHENOMENES OBJECTIFS CONSTATES SUR
LE MEMBRE REFROIDI ET SENSATIONS SUBJEC-
TIVES EPROUVÉES PAR LE SUJET.

Du côté refroidi, on observe la succession suivante de phénomènes :

Au bout de quelques minutes de séjour dans l'eau à 5°-10°, la peau devient blanche.

Au bout d'une dizaine de minutes, sur la blancheur de la peau apparaissent des traînées rouges. En même temps, les muscles commencent à se parésier et la parésie débute par l'extrémité du membre.

Un peu plus tard, la sensation de froid devient une sensation douloureuse à la pulpe des doigts et la paume de la main. Ces douleurs s'étendent en même temps que la parésie augmente encore vers la 30^e minute. La peau est de plus en plus marbrée. Au bout de trois quarts d'heure environ, la sensation de froid gagne l'avant-bras et le sujet accuse même une sensation de froid jusque dans le dos, mais la parésie reste stationnaire.

Dans certaines expériences, où la température initiale était basse oscillant entre 4°-6°, les douleurs dans les extrémités des doigts étaient presque insupportables. La parésie après avoir atteint un certain degré, reste stationnaire même si on prolonge le séjour dans le bain.

A la sortie du bain, au bout de 50 à 55 minutes, par exemple, la parésie n'est pas plus prononcée qu'à la 40° ou 45° minute.

Lorsque le sujet retire son bras de l'eau, en moins de deux minutes, tout l'avant-bras devient rouge.

Les sensations de froid localisé se prolongent longtemps et parfois même elles se généralisent un quart d'heure environ après la sortie du bain de bras. La rougeur de la peau diminue peu à peu. Il faut au moins une demi-heure pour que tout rentre dans l'ordre.

C. — ETUDE ANALYTIQUE DES EXPERIENCES

A. — 1° EVOLUTION DE L'EXCITABILITÉ DES MUSCLES DU CÔTÉ REFROIDI PENDANT LE BAIN FROID LOCAL

Voici trois expériences sur les variations de la chronaxie des muscles pendant le bain du côté refroidi. Dans ces expériences nous avons continué la prise des mesures même après la sortie du bain, quoique la question de la variation de la chronaxie des muscles après la sortie du bain soit déjà étudiée. En regardant ces variations sur un même tableau ou sur une même courbe, on a, dans une vue d'ensemble, les variations successives de la chronaxie des muscles pendant le bain et après la sortie du bain.

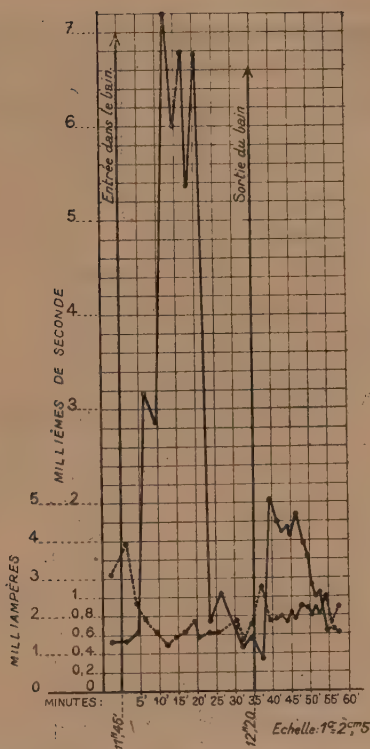
a) EXPERIENCE DU 4 FÉVRIER 1924 (voir fig. 11)

Refroidissement de l'avant-bras. — Extenseur commun droit (faisceau du 4^e doigt). — Point moteur supérieur. — Excitabilité mesurée pendant le bain et après la sortie du bain. — Durée du bain 35 minutes. — Electrode n° 2 garnie de caoutchouc.

Temps.	Probosc.	Chronaxie en 1/1000 de seconde.	Contraction.	Température de la peau et du bain.	Phénomènes généraux.
Avant le bain	3 m. A. 1	0°.58	—	Eau 30°.5	—
Entré à 11 ^h 25	—	—	—	Eau 7°.5	—
2' après le début du bain	4 m. A. —	0°.58	—	—	—
5'	2 m. A. 4	0°.64	—	—	—
7'	2 m. A. —	3°.40	Ralentissement de la déscontraction	—	Douleur à la face palmaire des doigts
10'	1 m. A. 3.5	3°.16	—	—	—
13'	1 m. A. 3.5	7°.60	Légers galvauntonies	—	Amplitude notablement diminuée
15'	1 m. A. 5	6°. —	Brûlé léger galvanotonus	—	Ralentissement de la déscontraction amplitude diminuée
17'	1 m. A. 6	6°.30	—	—	—
19'	1 m. A. 8	5°.60	—	—	—
21'	1 m. A. 5	6°.60	La contraction reste la même	Eau 9°	Atténuation des sensations douloureuses
24'	1 m. A. 3.5	0°.68	—	—	—
26'	1 m. A. 6	1°.04	Le ralentissement de la dés- contraction a presque disparu	Eau 9°	Amplitude de la contraction augmente
28'	2 m. A. 5	0°.28	—	—	—
31'	1 m. A. 9	0°.64	—	Eau 8°.5	Sensation de froid dans tout l'avant-bras
32'	1 m. A. 9.5	0°.53	La contraction est devenue vive	—	—
35'	1 m. A. 8.5	0°.48	—	—	—
Sortie du Bain à 12 ^h 20.					
3 après la sortie	2 m. A. 8	0°.36	—	Eau 18°	La peau qui était rouge pendant le bain, est devenue plus froide à la sortie
5'	1 m. A. 9	2°.04	Ralentissement de la déscontrac- tion	Eau 18°.3	—
7'	1 m. A. 9.5	1°.80	—	Eau 19°.5	—
8'	2 m. A. —	1°.72	Le léger ralentissement de la déscontraction	—	—
9'	1 m. A. 9	1°.76	nouvelle diminution de l'amplitude	—	—
10'	2 m. A. —	1°.68	—	—	—
12'	2 m. A. —	1°.88	Contraction plus vive	Eau 20°	La rougeur de la peau diminue, la sensation de froid persiste dans le bras.
14'	2 m. A. 3	1°.40	—	—	—
15'	2 m. A. 2	1°.24	—	—	—
16'	2 m. A. 1	1°.12	—	Eau 30°.5	Début de sensation de froid généralisée
17'	2 m. A. 1.5	1°. —	—	—	—
18'	2 m. A. 1	1°.08	—	—	—
20'	2 m. A. 5	0°.60	—	—	—
21'	2 m. A. 3	0°.60	La contraction est de plus en plus normale.	Eau 20°.5	La rougeur a disparu presque totalement.
23'	2 m. A. 3	0°.60	La contraction est normale mais on est bien sûr le point moteur	—	—

Dans cette expérience la chronaxie augmente à la 7^e minute, atteint son maximum vers la 13^e minute puis après quelques oscillations redescend à la normale pour réaugmenter 5 minutes après la sortie du bain.

La contraction évolue parallèlement à la chronaxie.



Expérience du 4 Février 1924.

Fig. 11. — Expérience de refroidissement. — Sujet normal. — Evolution de la chronaxie pendant le bain et après la sortie du bain du côté refroidi. Point moteur supérieur de l'extenseur commun des doigts à droite (faisceau du 4^e doigt).

b) EXPÉRIENCE DU 11 FÉVRIER 1924 (voir fig. 12).

Refroidissement de l'avant-bras droit. — Extenseur commun droit (faisceau du 4^e doigt). — Point moteur supérieur. — Excitabilité mesurée pendant le bain et après la sortie du

bain. — Durée du bain 45 minutes. — Electrode n° 2 garnie de caoutchouc.

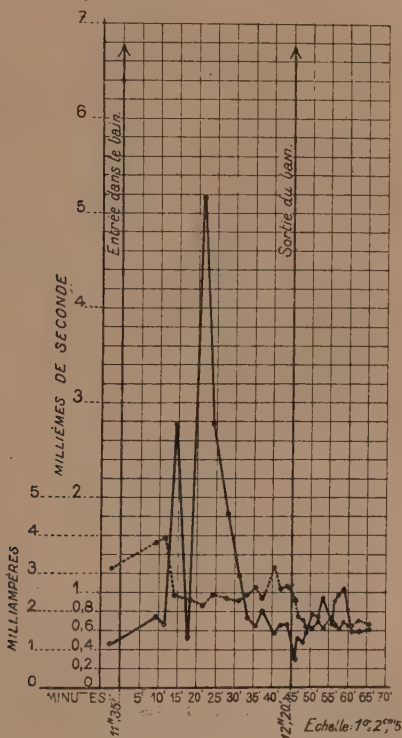
Temps	Réobase	Chronaxie en 1/1000 de seconde.	Contraction.	Température de la peau et du bain.	Phénomènes Généraux.
Avant le bain	3 m A. 2	0° 48	—	Peau 32°	—
Bain à 44° 31'	—	—	—	Bain 8°	—
40 min le bain	3 m A. 9	0° 56	(On a perdu un peu de temps au début du bain de caoutchouc s'étant déplacé.)	—	—
42 " " "	4 m A. .	0° 64	—	—	—
45 " " "	2 m A. 5	1° 10	La récontraction se ralentit.	Bain 8° 5	—
15 " " "	2 m A. 5	0° 52	amplitude diminuée.	—	—
18 " " "	2 m A. 105	0° 52	galvanotonies.	—	—
22 " " "	2 m A. 2	1° 20	amplitude très petite. Pas de galvanotonies.	—	—
25 " " "	3 m A. 5	1° 20	amplitude très petite. Pas de galvanotonies.	—	—
29 " " "	2 m A. 4	1° 28	galvanotonies.	Bain 9° 5	—
32 " " "	2 m A. 35	1° 20	Pas de galvanotonies.	—	—
34 " " "	2 m A. 5	0° 72	l'amplitude est meilleure.	Bain 8° 5	—
36 " " "	2 m A. 65	0° 64	la réaction plus grande.	—	—
38 " " "	2 m A. 5	0° 80	Contraction assez vive.	Bain 8°	—
41 " " "	3 m A. 2	0° 60	la contraction est vive.	—	—
43 " " "	3 m A. 65	0° 64	la contraction est normale.	—	—
45 " " "	2 m A. 7	0° 66	l'amplitude a un peu diminué.	—	—
Sortie du Bain à 12 h 23.			—	Peau 17°	La peau est rouge — on l'essuie
4 min la sortie	2 m A. 4	0° 32	Contraction vive	Bain 9°	La graduation du thermomètre comparée à 17° 5 le renverse, et on arrive au retour à 17° 5
5 " " "	1 m A. 3	0° 46	—	—	—
7 " " "	1 m A. 95	0° 52	—	—	—
4 " " "	1 m A. 95	0° 60	—	Peau 19°	—
6 " " "	1 m A. 6	0° 60	—	—	—
7 " " "	1 m A. 8	0° 72	Léger ralentissement de la décontraction.	—	Sensation de froid.
11 " " "	1 m A. 6	0° 92	—	—	—
11 " " "	1 m A. 8	0° 64	—	—	—
12 " " "	1 m A. 75	0° 96	—	—	—
13 " " "	1 m A. 6	1° 0	Contraction vive — récontraction ralentie.	—	—
14 " " "	1 m A. 7	1° 04	—	Bain 22° 5	—
15 " " "	1 m A. 7	0° 88	Contraction vive.	—	—

Dans cette expérience la chronaxie commence à monter 10 minutes après le début du bain et après quelques oscillations atteint sa valeur maxima (50,20) vers la 22^e minute. Puis elle redescend à la normale quoique le bain froid dure 10 minutes de plus que dans l'expérience a. A la sortie du bain après avoir diminué de presque la moitié de sa valeur, elle remonte, mais sans dépasser une valeur double de la normale.

A la sortie du bain, il n'y a pas eu cette fois, la sensation de froid qu'on observe habituellement. L'engourdissement même dans le bain a été moins prononcé que dans les autres

expériences. Quand on a arrêté l'expérience, l'engourdissement avait absolument disparu, ce qui ne s'était pas produit dans les expériences précédentes. D'habitude les excitations sont plus douloureuses avant le bain. Dans cette expérience elles étaient plus douloureuses pendant le bain.

A la sortie du bain la douleur est disparue instantanément. Le refroidissement paraît devenir de moins en moins pénible. Nous nous sommes demandé s'il y avait une accoutumance progressive à l'eau froide.



Expérience du 11 Février 1924.

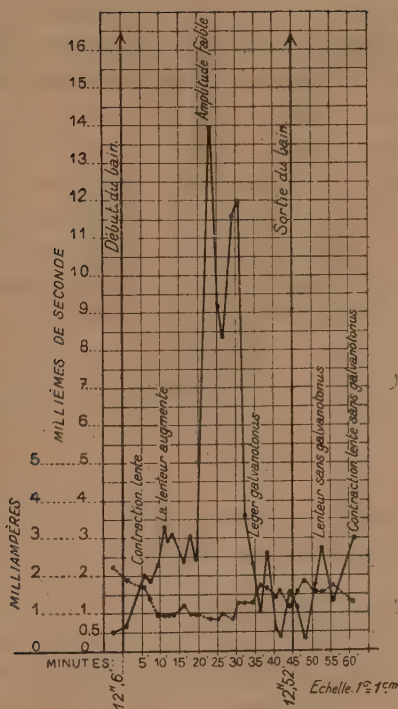
Fig. 12. — Expérience de refroidissement. — Sujet normal. — Evolution de la chronaxie du côté refroidi, pendant le bain et après la sortie du bain. — Point moteur supérieur de l'extenseur commun des doigts droits (faisceau du 4^e doigt).

c) EXPÉRIENCE DU 6 AVRIL 1925 (voir fig. 13)

Refroidissement de l'avant-bras droit. — Extenseur des doigts (faisceau du 4^e doigt). — Point moteur supérieur. — Excitabilité mesurée pendant le bain et après la sortie du bain. — Durée du bain 46 minutes. — Mêmes conditions expérimentales que dans les expériences précédentes.

Temps.	Réponse	Chronaxie en 1/1000 de seconde	Contraction.	Température de la peau et du bain	Phénomènes Généraux.
Avant le bain	2 m A. 2	0 ^e . 52	—	Peau 32 ^e 5	—
Bain à 12 ^e 5			—	Bain 7 ^e	—
2 après le bain	1 m A. 9	0 ^e . 64	—	—	—
6' " " "	1 m A. 7	2 ^e . 5	Décontraction lente.	—	Froid dans le bras.
8' " " "	1 m A. 4	1 ^e . 38	—	—	Fourmillements
10' " " "	1 m A. 1	2 ^e . 32	—	—	—
11 1/2' " " "	0 m A. 9	3 ^e . 24	la lenteur augmente. L'amplitude diminue.	—	—
13' " " "	0 m A. 95	3 ^e . 0	—	—	—
14' " " "	1 m A. 1	3 ^e . 12	—	Bain 9 ^e	—
17' " " "	1 m A. 2	2 ^e . 64	—	Bain 3 ^e 5	Engourdissement du bout des doigts
19' " " "	1 m A. 1	3 ^e . 04	la lenteur augmente.	Bain 8 ^e	—
20' " " "	1 m A. 1	2 ^e . 64	—	Bain 8 ^e	—
24' " " "	0 m A. 9	14 ^e . 5	amplitude faible.	—	Les doigts sont très froids et se décontractent. Froid qui va jusqu'à l'excitation de grands froids - les doigts sont moins sensibles.
26' " " "	0 m A. 9	9 ^e . 20	—	Bain 8 ^e	—
27' " " "	1 m A. 1	8 ^e . 40	amplitude faible.	—	—
29 30' " " "	0 m A. 95	11 ^e . 60	amplitude très diminuée.	—	—
31' " " "	1 m A. 3	12 ^e . 5	amplitude un peu meilleure - lenteur d'excitation de 1/4 de galvanotonus	Bain 9 ^e	—
33' " " "	1 m A. 3	3 ^e . 60	—	—	—
35' " " "	1 m A. 3	2 ^e . 36	Léger galvanotonus	—	—
37' " " "	1 m A. 7	1 ^e . 04	Contraction moins lente - amplitude meilleure.	—	—
39' " " "	1 m A. 7	2 ^e . 64	Décontraction plus lente - amplitude meilleure.	—	Excitation d'engourdissement - douleur très atténuée.
41' " " "	1 m A. 5	0 ^e . 60	—	—	—
42' " " "	1 m A. 6	0 ^e . 44	galvanotonus net.	Bain 8 ^e	—
45' " " "	1 m A. 2	1 ^e . 52	nouvelle diminution d'amplitude - nouveau ralentissement de la contraction.	—	Sensation de froid plus intense.
46' " " "			Sorti du Bain à 12 ^e 5	Bain 8 ^e 5	—
2' après	1 m A. 0	1 ^e . 20	Contraction lente - 1/4 de galvanotonus - bonne amplitude.	Bain au-dessus de 12 ^e 5	L'avant-bras est rouge avec quelques marbrures.
4' " " "	1 m A. 9	0 ^e . 40	Léger galvanotonus. Contrac.	—	Sensation douloureuse.
6' " " "	1 m A. 6	1 ^e . 64	Lenteur et léger galvanotonus.	—	—
8' " " "	1 m A. 6	2 ^e . 80	Lenteur sans galvanotonus.	—	Sensation de chaleur.
11' " " "	1 m A. 7	1 ^e . 04	amplitude plus grande. Contrac.	Peau 8 ^e	la contraction devient lente.
16' " " "	1 m A. 3	3 ^e . 08	Contraction lente dans galvanotonus.	—	la contraction est encore plus lente. Pour le 3 ^e doigt, la réaction de l'excitation fait disparaître la myotonie, la douleur du point moteur s'atténue.
					grande paralysie qui existe, même le 4 ^e doigt, mais qui n'est pas encore complète. Fourmillements dans les mouvements volontaires.

Dans cette expérience, 24 minutes après l'entrée dans le bain, la chronaxie atteint un maximum beaucoup plus considérable (14₅), que dans les deux expériences précédentes. Après la sortie du bain, la chronaxie après avoir descendu à la fin du bain, remonte à une valeur égale à 5 fois la normale.



Expérience du 6 Avril 1925

Fig. 13. — Expérience de refroidissement. — Sujet normal. — Evolution de la chronaxie du côté refroidi, pendant le bain et après la sortie du bain. — Point moteur supérieur de l'extenseur commun des doigts du côté droit (faisceau du 4^e doigt).

En résumant les expériences sur l'évolution de la chronaxie des muscles au point moteur pendant le bain, on peut dire que l'augmentation de la chronaxie est en général considérable. Elle dépasse 20 fois la valeur normale de la chronaxie comme dans l'expérience du 6 avril 1925. Cette augmentation de la chronaxie débute en général quelques minutes après l'entrée dans le bain (6 à 7 minutes) et atteint son maximum

en 20 minutes environ. puis descend, même si on continue le bain froid local. Pendant le bain, l'augmentation de la chronaxie coïncide avec l'augmentation des sensations douloureuses éprouvées par le sujet.

A la diminution de la chronaxie correspond, du côté des sensations subjectives, une diminution de la douleur. Les oscillations dans l'évolution de la chronaxie se superposent aux oscillations des phénomènes subjectifs ressentis par le sujet en expérience, des vagues de froid et de chaleur alternatives traversant les différentes parties du segment de membre refroidi.

Ces sensations subjectives ressenties par le sujet doivent être considérées comme dues au fonctionnement des vasomoteurs.

B. — 1° EVOLUTION DE L'EXCITABILITÉ DES MUSCLES DU CÔTÉ REFROIDI APRÈS LE BAIN FROID LOCAL

Le résultat de cette expérience est très net.

La contraction devient lente et la chronaxie augmente plus ou moins selon les expériences, mais toujours notablement. La valeur maxima a varié entre 6σ et 10σ , soit de 10 à 20 fois la valeur normale. Mais cette valeur de la chronaxie n'atteint pas son maximum tout de suite après la sortie du bain, mais au bout de 7 à 8 minutes seulement.

Après avoir augmenté jusqu'à une valeur maxima, la chronaxie diminue et revient peu à peu à sa valeur normale en une demie heure environ. La contraction, ici, évolue parallèlement à la chronaxie.

La rhéobase varie nettement en sens inverse de la chronaxie, comme il est de règle dans les modifications expérimentales de la chronaxie.

Voici un exemple de cette expérience :

EXPÉRIENCE DU 22 MAI 1922 (voir fig. 14)

Refroidissement de l'avant-bras droit. — Température de l'eau maintenue entre 9° et 10° centigrades. — Durée du bain

41 minutes. — Point moteur supérieur (faisceau du 4^e doigt).
 Point moteur supérieur. — Excitabilité mesurée à partir de
 la sortie du bain. — Electrode n^o 1. — Température locale de
 la peau un peu en avant du point moteur avant le bain :

Côté droit 34°6
 Côté gauche 34°2

Chronaxie avant le bain : 0,52. — Rhéobase vérifiée après
 chaque mesure.

Excitabilité mesurée après la sortie du bain.

TEMPS ÉCOULÉ	RHÉOBASE	CHRONAXIE	TEMPÉRA- TURE LOCALE A GAUCHE	PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX A DROITE
Début du bain à 11 h. 21'				
2' . . .	2 mA,3	0σ,52		Peau très blanche.
4' . . .	2 mA,1	0σ,64		
8' . . .	2 mA,3	0σ,52		
10' . . .	2 mA,1	0σ,52		Trainées rouges. Parésie débu- tant par le pouce.
12' . . .	2 mA	0σ,52		Parésie gagne les autres doigts
14' . . .	1 mA,95	0σ,60	29°,7	
16' . . .	2 mA,05	0σ,64	29°,4	
18' . . .	1 mA,75	0σ,84	29°,4	Sensation de froid profonde à la main. Parésie de tous les doigts.
20' . . .	1 mA,85	1σ		Douleurs à la pulpe des doigts.
24' . . .	1 mA,7	1σ,2	29°,4	Marbrures augmentent.
26' . . .	1 mA,7	0σ,76		Le sujet, sentant de l'engour- dissement à gauche, a remué les doigts.
29' . . .	1 mA,4	0σ,83	29°,4	Parésie augmente. Douleurs s'étendent.
33' . . .	1 mA,45	0σ,96		
36' . . .	1 mA,3	0σ,72	29°,6	
39' . . .	1 mA,4	1σ	29°,6	Parésie stationnaire.
42' . . .	1 mA,35	1σ,24	29°,3	Sensation de froid gagne l'a- vant-bras et le dos. — Mar- brures.
45' . . .	1 mA,7	0σ,88	29°,3	
47' . . .	1 mA,7	1σ	29°,3	Mêmes sensations.
Sortie du bain local au bout de 47 minutes à 12 h. 8'				
2' . . .	1 mA	0σ,60	29°,3	Rougeur intense de la peau de l'avant-bras.
4' . . .	1 mA,6	0σ,64		
6' . . .	1 mA,65	0σ,72	29°,1	Le sujet commence à se ré- chauffer profondément.
8' . . .	1 mA,8	0σ,72		Rougeur de la peau diminue.
10' . . .	1 mA,7	0σ,68	29°,2	Douleurs disparues. Sensation de froid à l'avant-bras.
12' . . .	1 mA,55	0σ,56	29°,	
14' . . .	1 mA,6	0σ,44		
15' . . .	1 mA,55	0σ,48	29°,	
17' . . .	1 mA,5	0σ,56		
18' . . .	1 mA,3	0σ,48	29°,	
19' . . .	1 mA,25	0σ,52	29°,	Mouvements revenus. Sensation de froid persistante à l'avant- bras.
22' . . .	1 mA,4	0σ,56	29°,	Le réchauffement n'est pas en- core complet.

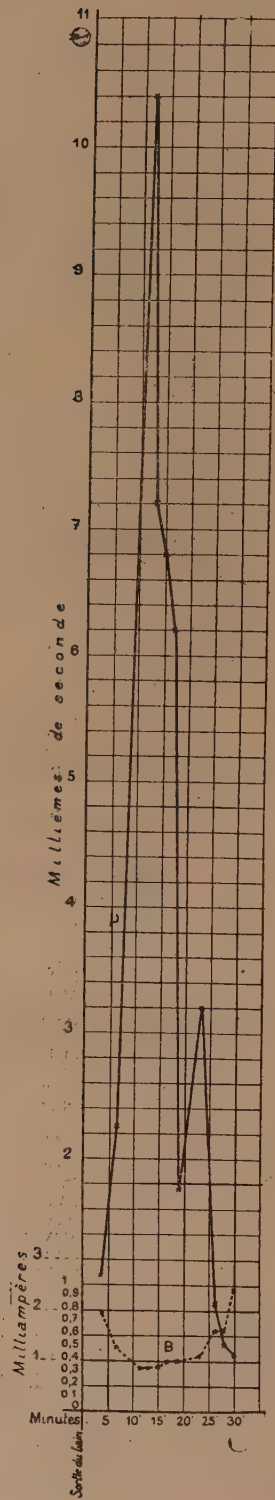


Fig. 14. — Expérience de refroidissement. — Evolution de la chronaxie du côté refroidi (côté droit). Extenseur commun des doigts (faisceau du 4^e doigt). Expérience du 22 mai 1922.

Dans cette expérience, la chronaxie a atteint sa valeur maxima et la lenteur de la contraction a été nette 12' après la sortie du bain.

Pendant le retour de la chronaxie à la normale on remarque une oscillation. Cette oscillation s'est retrouvée dans les autres expériences. Il y a même eu quelquefois plusieurs oscillations pendant le réchauffement spontané après la sortie du bain. Il y a d'ailleurs des oscillations aussi dans les sensations alternatives de chaud et de froid qu'éprouve le sujet.

Le refroidissement produit donc un syndrome très analogue à celui de la dégénérescence, avec contraction lente et chronaxie arrivant à des valeurs comparables à celles de la dégénérescence, tout au moins aux valeurs moyennes, sans arriver aux très grandes valeurs de 20σ à 70σ .

Les variations de la chronaxie du côté refroidi, pendant le bain et après la sortie du bain, dépassent celles que pourrait produire exclusivement le refroidissement direct. Le rapport de 1 à 10 ou de 1 à 20 de l'écart des chronaxies est beaucoup plus important que celui de L. Lapique et G. Filon (1) ont observé dans leurs expériences sur la grenouille. Dans ces expériences le rapport des chronaxies est inférieur à 2 pour des différences de température de 10° , tandis que dans nos expériences chez l'homme normal, pour une différence de température locale de 15° (température de la peau à la fin du bain 18°) nous enregistrons un rapport des chronaxies de 1 à 15. Le bain froid local doit agir par l'intermédiaire des troubles naso-moteurs qu'il détermine. Ces expériences établissent donc l'importance de l'état des circulations locales dans la valeur de l'excitabilité. Elles appuient ce que G. Bourguignon a dit en étudiant les variations pathologiques de la chronaxie, que des troubles non lésionels sont capables

(1) L. Lapique et G. Filon. — Variations de la vitesse d'excitabilité avec la température. C. R. de la Soc. de Biologie, t. LXVIII, p. 925, 28 mai 1910.

de produire un syndrome analogue à celui de la dégénérescence.

B. — 2° EVOLUTION DE L'EXCITABILITÉ DES NERFS
DU CÔTÉ REFROIDI PENDANT LE BAIN LOCAL
ET APRÈS LA SORTIE DU BAIN

Ce groupe d'expériences a été divisé en trois parties suivant l'emplacement occupé par l'électrode excitatrice :

a) *Franchement au-dessous de l'eau* (2-3 cm. au dessous du niveau de l'eau);

b) *Au ras de l'eau;*

c) *Au dessus du niveau de l'eau* avec 2 subdivisions :

1° Entre la pointe du V deltaïdien et quelques cm au dessus du niveau de l'eau, et

2° Très au dessus du niveau de l'eau (dans le creux sus-claviculaire).

a) *Electrode placée franchement au dessous du niveau de l'eau*

Une expérience a été faite en 1925 et cinq expériences en 1929.

Nous allons commencer par le protocole de l'expérience de 1925, ensuite suivront deux expériences de 1929.

1) EXPÉRIENCE DU 27 AVRIL 1925 (voir fig. 15)

Refroidissement de l'avant-bras droit et de la partie inférieure du bras droit. — Nerf radial, seuil simultané de l'extenseur propre de l'index et du long abducteur du pouce.

On retourne le bain de bras de façon à mettre le petit côté vers l'épaule et à faire arriver le niveau de l'eau aussi haut que possible au dessus de l'électrode, pour que la portion du nerf excité soit sûrement une portion du nerf soumise à l'action du refroidissement.

Température de la peau avant l'entrée dans le bain, au niveau de la gouttière de torsion, 32°.

Durée du bain 26 minutes.

Excitabilité mesurée pendant le bain et après la sortie du bain.

Temps	Rhéobase	Chronaxie en 1/1000 de seconde	Contraction	Température de la peau et du Bain	Phénomènes Généraux
Avant le bain	1 m A. 2	0,62	—	Bain 32°	—
Début à 14h30	—	—	—	Bain à 12	—
11' après	2 m A. 3	0,72	Contraction lente	Bain à 11,5	—
8'	2 m A. 4	0,96	—	—	Remarques de froid et de douleur dans les doigts.
10'	2 m A. 5	1,5	—	Bain à 11,5	—
14'	2 m A. 4	1,5, 12	—	—	—
17'	2 m A. 3	1,5, 10	—	Bain à 6,5	—
20'	2 m A. 5	1,5, 38	—	—	Grande sensation de froid sans douleur.
21'	2 m A. 5	1,5, 68	—	—	—
23'	2 m A. 6	1,5, 68	—	Bain à 78	—
25'	2 m A. 6	0,96	Contraction lente	—	—
Sortie du Bain à 12 h 20				Bain à 62	Grande paralysie - fourmillements. La rougeur de la plonge ne revient à la sortie.
2' après	2 m A. 55	2,504	Point de l'estomac rouge et l'index - contraction du long qui donne le bain des galvotonus.	—	Formation de chapelet intense au bout des doigts.
5'	1 m A. 3	1,5, 16	Point du long abducteur du pouce. Contraction moins lente que celle du long au long abducteur du pouce.	—	—
7'	1 m A. 4	1,5, 68	—	—	La rougeur a beaucoup diminué. Phalange dans la paume de la main.
9'	2 m A. 2	1,5, 16	—	Bain 10°	—
11'	1 m A. 4	0,92	Point du long abducteur du pouce.	Bain 21°	La rougeur a complètement disparu.
13'	1 m A. 6	0,72	Contraction beaucoup plus vive.	Bain 21,5	—
15'	1 m A. 9	0,56	La contraction est plus vive normale.	Bain 22,5	—
16'	1 m A. 9	0,56	—	—	—

On met 6.000 ω et on excite le long abducteur du pouce au point moteur supérieur; on trouve, rhéobase = 1 m A. 5, chronaxie = 0,48. La contraction est lente au galvanique. Le même muscle par excitation longitudinale donnait : rhéobase = 3 m A. 1, chronaxie = 9,20 avec contraction lente et fort galvanotonus.

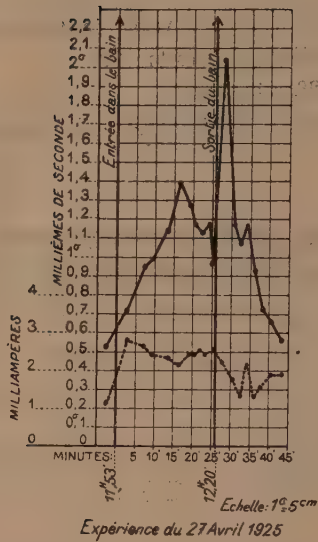


Fig. 15. — Refroidissement de l'avant-bras droit et du tiers inférieur du bras. Sujet normal. Nerf radial à la partie inférieure du bras. Seuil simultané de l'extenseur propre de l'index et du long abducteur du pouce.

Expérience du 27 avril (Tarnauceanu)

Dans cette expérience, la chronaxie commence à augmenter 4 minutes environ après l'entrée dans le bain, atteint son maximum vers la 17^e minute. Ce maximum a environ une valeur double de la normale. A la sortie du bain elle monte et atteint une valeur plus grande que pendant le bain sans dépasser quatre fois la valeur normale. Puis elle redescend.

2) EXPÉRIENCE DU 29 MARS 1929 (voir fig. 16)

Refroidissement de l'avant-bras et du tiers inférieur du bras droit. — Nerf radial au tiers inférieur du bras, seuil de l'extenseur de l'index.

Doublage automatique pendant toute la durée de l'expérience (Table ancienne). — Electrode n° 2 garnie de caoutchouc.

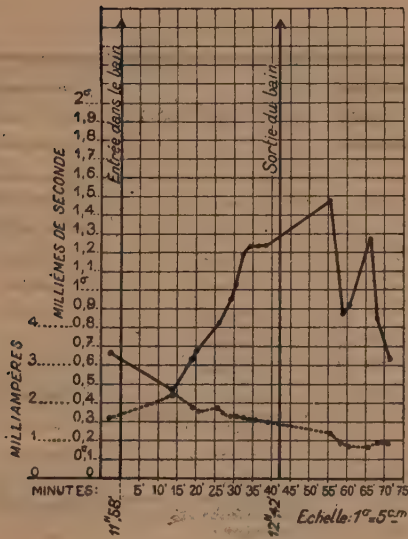
L'orifice pratiqué dans la garniture en caoutchouc de l'électrode s'étant agrandi, il y avait de la diffusion, on excitait bien le radial hors de l'eau, mais dans l'eau c'était le médian qui répondait. Après avoir regarni l'électrode on excitait bien le radial dans l'eau, il n'y avait plus de diffusion.

L'eau est franchement au dessus de l'électrode. L'électrode se trouve à 4 cm, 5-5 cm. environ au dessous du niveau de l'eau. Durée du bain 42 minutes.

Excitabilité mesurée pendant le bain et après la sortie du bain.

Démoys	Réobase	Chronaxie en 1/1000 de seconde	Contraction.	Température de la peau et du bain.	Phénomènes Généraux.
Avant le bain	1 mA, 6	0,56 H	—	—	—
Bain pendant 11 h 59	2 mA, 4	0,54 H	—	Bain à 32,98	—
15 ^e après le général bain	1 mA, 9	0,56 H	—	Bain à 30	—
19 ^e —	1 mA, 95	0,56 H	—	—	—
26 ^e —	1 mA, 9	0,58 H	—	—	—
27 ^e —	1 mA, 8	0,596	—	—	—
30 ^e —	1 mA, 7	1,01 H	—	—	—
31 ^e —	1 mA, 7	1,20	—	—	—
33 ^e —	1 mA, 65	1,20	—	—	—
35 ^e —	1 mA, 6	1,21	—	—	—
37 ^e —	1 mA, 6	1,21	—	—	—
40 ^e —	1 mA, 55	1,21	—	—	—
42 ^e —	Sortie de l'eau	à 12 H 42 ^e	—	Bain 24,89 à 12 H 46 ^e	La limite supérieure de la température est à 5 mm au-dessus de l'électrode
14 ^e après la sortie	1 mA, 2	1,5 H	Contraction lente.	—	—
17 ^e —	1 mA.	0,58 H	Contraction moins lente.	—	—
19 ^e —	0 mA, 9	0,92	—	—	—
24 ^e —	0 mA, 9	1,28	—	—	—
27 ^e —	1 mA.	0,54	—	—	—
30 ^e —	0 mA, 95	0,54	La contraction est presque normalement viv.	—	—

Dans les mesures avant et après le bain, les seuils ont été pris sur l'extenseur de l'index. Dans les mesures pendant le bain on a pris le seuil du long extenseur du pouce.



Expérience du 29 Mars 1929

Fig. 16. — Refroidissement de l'avant-bras droit et du tiers inférieur. — Sujet normal. Nerf radial à la partie inférieure du bras, seuil de l'extenseur de l'index.

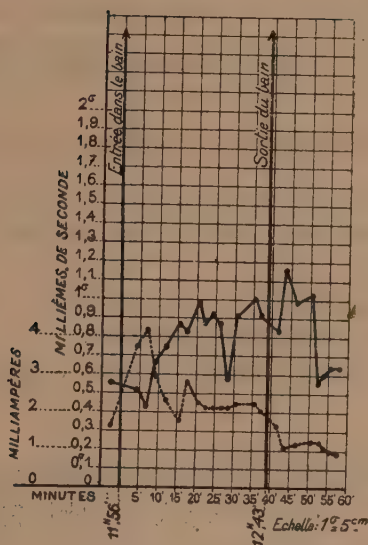
Expérience du 29 mars 1929 (L. Greif).

Dans cette expérience, pendant le bain la chronaxie commence par diminuer légèrement presque de la moitié de sa valeur, puis vers la 15^e minute, augmente progressivement et atteint vers la 35^e minute son maximum qui ne dépasse pas le double de sa valeur normale. Elle réaugmente encore à la sortie du bain et atteint presque le triple de sa valeur initiale puis redescend.

3) EXPÉRIENCE DU 9 AVRIL 1929 (voir fig. 17)

Refroidissement de l'avant-bras droit et du tiers inférieur du bras droit. — Nerf radial, seuil de l'extenseur du pouce pendant toute l'expérience. — Durée du bain 39 minutes. — Table ancienne. — Doublage automatique du voltage rhéobasique. — Excitabilité mesurée pendant le bain et après la sortie du bain. — Electrode à 4 cm 4 au dessous du niveau de l'eau.

Temps	Réobase	Chronaxie en 1/1000 de seconde	Contraction.	Température de la peau et au bain.	Phénomènes Généraux.
Avant le bain	1 mA, 7	0°, 56	—	Peau 33° H	—
11 H 56' début du bain	3 mA, 8	0°, 52	—	Bain à 7°	—
5' après	4 mA, 2	0°, 44	—	—	—
7' —	3 mA.	0°, 68	—	—	—
10' —	2 mA, 4	0°, 76	—	—	—
13' —	1 mA, 8	0°, 88	—	—	—
16' —	2 mA, 85	0°, 84	—	Bain à 8°	—
21' —	2 mA, 3	1°.	La contraction devient lente	—	—
23' —	2 mA, 2	0°, 88	—	—	—
25' —	2 mA, 2	0°, 92	—	—	—
27' —	2 mA, 2	0°, 88	Contraction lente avec convulsions et un soubresaut.	Bain à 8°	—
29' —	2 mA, 2	0°, 60	—	—	—
31' —	2 mA, 3	0°, 92	—	—	—
36' —	2 mA.	1°.	—	—	—
38' —	2 mA, 1	0°, 92	—	—	—
39' Sortie du Bain à 12 H 45'					
				Bain à 8° 5	
				Température de la peau au niveau de l'électrode 22° 2	Grosse congestion à la sortie du Bain plus marquée à la main.
4' après	1 mA, 7	0°, 84	Contraction lente	—	—
6' —	1 mA, 1	1°, 16	— do —	—	—
9' —	1 mA, 2	1°.	— do —	—	—
13' —	1 mA, 25	1°, 04	—	—	—
15' —	1 mA, 25	0°, 56	—	—	—
16' —	1 mA, 15	0°, 60	—	—	—
17' —	1 mA.	0°, 64	—	—	—
19' —	1 mA.	0°, 64	—	—	—



Expérience du 9 Avril 1929.

Fig. 17. — Expérience de refroidissement. — Sujet normal. — Refroidissement de l'avant-bras droit et du tiers inférieur du bras droit. — Nerf radial, seuil de l'extenseur du pouce. Expérience du 9 avril 1929 (L. Greif.)

Dans cette expérience la chronaxie diminue légèrement sept minutes après le début du bain, puis augmente pour atteindre une valeur rapprochée du double de la normale.

A la sortie du bain elle augmente légèrement, puis redescend.

En résumant nos expériences de refroidissement sur le nerf, l'électrode étant placée franchement au dessous du niveau de l'eau, on peut décrire les phases suivantes dans l'évolution de la chronaxie : après une légère baisse, égale à presque la moitié de sa valeur, la chronaxie monte mais ne dépasse pas, en général, le double de sa valeur initiale; à la sortie du bain elle monte plus que dans le bain et ne dépasse pas quatre fois sa valeur normale.

b) *Electrode placée sur le nerf au ras de l'eau*

Nous avons fait deux expériences, l'une en 1925, l'autre en 1929.

1. — EXPÉRIENCE DU 29 AVRIL 1925 (voir fig. 18)

Refroidissement de l'avant-bras droit. — Nerf radial seuil de l'extenseur de l'index point moteur supérieur. — Durée du bain 39 minutes.

Dans cette expérience le niveau de l'eau arrivait juste au niveau du bord supérieur de l'électrode.

Excitabilité mesurée pendant le bain et après la sortie du bain.

Temps	Probosc	Chronaxie en 1/1000 de seconde	Contraction	Température de la peau et du bain	Phénomènes Généraux
Avant le bain	1 mA.5	0,52	—	Peau 22,8	—
Pendant le bain	1 mA.1	0,52	—	Bain 19,8	—
11'	1 mA.1	0,52	—	Bain 19,8	—
15'	0 mA.9	0,56	—	Bain 19,8	Peau levée.
15'	0 mA.9	0,56	—	—	La sensation douloureuse du nerf disparaît, les mouvements s'arrêtent.
15'	0 mA.9	0,56	—	—	Sensation de froid dans la main.
17'	0 mA.95	1,12	—	—	—
18'	0 mA.95	0,56	—	—	—
22'	0 mA.95	0,92	—	—	—
24'	0 mA.9	1,5	—	—	—
26'30"	0 mA.95	0,50	—	—	—
28'	0 mA.95	0,54	—	—	—
30'30"	0 mA.95	0,56	—	—	—
33'30"	0 mA.9	1,56	—	—	—
35'30"	1 mA.1	0,56	—	—	—
38'	1 mA.1	0,56	—	—	—
39'30"	1 mA.	0,56	—	Bain 19,8	—
Sortie du Bain à 12 H 56'					
Après le bain	1 mA.6	0,50	—	—	—
11'	1 mA.4	0,56	—	—	—
17'	1 mA.25	0,52	—	—	—
19'	1 mA.9	0,52	—	—	—
11'	3 mA.5	1,50	—	—	—
13'	2 mA.	0,52	—	—	—
15'	1 mA.6	0,52	—	—	—
16'	1 mA.5	0,50	—	—	—
18'	1 mA.6	0,54	—	—	—
20'	1 mA.7	0,56	—	—	—
22'	2 mA.	1,50	—	—	—

L'eau effleurait juste au-dessus du bord de l'électrode.

Cette expérience étant en somme une expérience où l'électrode est au dessous du niveau de l'eau, le résultat est tout à fait comparable aux résultats des expériences du paragraphe précédent.

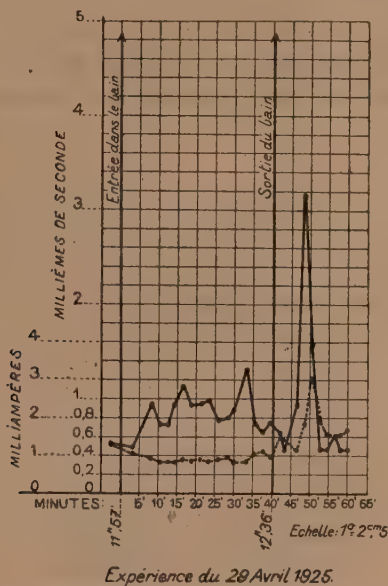


Fig. 18. — Expérience de refroidissement. — Sujet normal. — Nerf radial, seuil de l'extenseur de l'index, point moteur supérieur.

2. — EXPÉRIENCE DU 19 MARS 1929 (voir fig. 19)

Refroidissement de l'avant-bras et du tiers inférieur du bras droit. — Nerf radial, seuil de l'extenseur de l'index et du long extenseur du pouce.

Température de la peau au point d'excitation du nerf radial au tiers inférieur du bras droit 33°7 centigrades. — Durée du bain 46 minutes.

Chronaxie du nerf radial avant le bain 0,58.

— Table ancienne, 6.000 Ω. — Doublage automatique.

— Electrode n° 2 garnie de caoutchouc.

— Entrée dans le bain à 12 h. 37.

— Température de l'eau 6°5.

La chronaxie du nerf dans cette expérience ne présentant presque pas de variations; nous ne donnons pas le tableau. Sur le graphique on voit d'ailleurs très nettement le résultat de l'expérience.

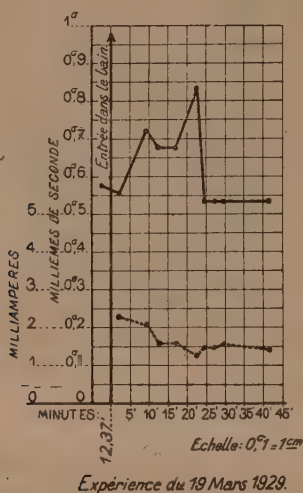


Fig. 19. — Expérience de refroidissement. — Sujet normal. — (L. Greif). — Nerf radial, seuil de l'extenseur de l'index et du long extenseur du pouce.

Dans cette expérience le centre de l'électrode était juste au niveau de l'eau. L'électrode était donc placée de telle manière que la moitié inférieure plongeait dans l'eau et la moitié supérieure était hors de l'eau.

Le résultat est analogue aux résultats des expériences sur le nerf, électrode placée au dessus du niveau de l'eau.

C) 1. *Electrode placée au dessus du niveau de l'eau* (entre la pointe du V deltoïdien et 2 cm au dessus du niveau de l'eau)

Une partie de ces expériences a été faite en 1925, une autre partie en 1929 (5 expériences, 3 en 1925 et 2 en janvier 1929).

Voici deux expériences faites en mai-juin 1925 :

1. — EXPÉRIENCE DU 15 MAI 1925 (voir fig. 20)

Le bain est disposé de la façon suivante : l'eau ne dépassait pas le coude à la partie externe, elle couvrait tout l'avant-bras, sauf un petit triangle à sommet inférieur, laissant en dehors la partie supérieure du long supinateur et des radiaux. A la face interne du bras la limite supérieure du niveau de l'eau remonte à 6 cm au dessus de l'interligne articulaire.

A la face externe elle est à 5 cm au dessous de la ligne horizontale passant par le centre de l'électrode.

Nerf radial. — Dans cette expérience, le seuil a été pris tantôt sur l'extenseur propre de l'index, tantôt sur l'extenseur du pouce. Electrode n° 1. Durée du bain 49 minutes. Excitabilité mesurée pendant le bain.

Temps	Rheobase	Chronaxie en 1/1000 de Seconde	Contraction.	Température de la peau et du bain.	Phénomènes Généraux - Observations.
Avant le bain	3 mA, 9	0,52	—	—	Electrode N°1 sans caoutchouc
Bain à 14°40	—	—	—	Bain à 5°	—
6' après l'entrée	3 mA, 8	0,56	—	—	—
8' —	2 mA, 7	0,52	—	—	Sensation de froid aux bouts des doigts..
11' —	2 mA, 1	0,44	—	Bain à 5°	—
13' —	1 mA, 95	0,52	—	—	—
14' —	2 mA, 7	0,56	—	—	—
16' —	1 mA, 8	0,48	—	Bain à 5°	—
20' —	2 mA, 7	0,52	—	Bain à 5°	—
22' —	1 mA, 85	0,56	—	—	—
26' —	1 mA, 7	0,60	—	—	—
28' —	2 mA, 2	0,52	Léger ralentissement et forte diminution d'amplitude..	Bain à 5°	—
30' —	2 mA, 15	0,60	—	—	—
33' —	1 mA, 9	0,46	—	Bain à 5°	—
35' —	2 mA, 5	0,50	—	—	—
37' —	2 mA, 5	1,06	Contraction ralentie avec diminution d'amplitude..	Bain à 6°	—
38' —	2 mA, 7	0,96	—	—	—
40' —	1 mA, 95	0,50	—	—	Pas de sensation douloureuse dans les doigts. Parésie..
<u>Long Extenseur du Pouce par excitation longitudinale..</u>					
47' —	3 mA, 5	11,80	Contraction plus lente d'amplitude plus grande que par le nerf..	Peau au voisinage de l'électrode 28°	—
49' —	<u>Sortie du Bain..</u>				
53' —	Nerf médian au bras.	—	Contraction myotonique par le nerf.	Température de la face postérieure de l'avant-bras au milieu de sa longueur.. 18°5.	—

Dans cette expérience il y a eu un léger refroidissement de la peau au dessus du niveau de l'eau.

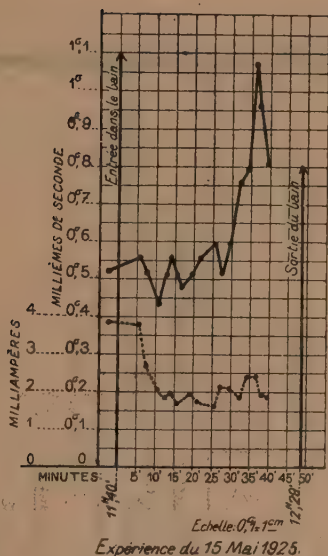


Fig. 20. — Refroidissement de l'avant-bras. — Sujet normal.
Nerf radial, seuil de l'extenseur de l'index et de l'extenseur du pouce.

2. — EXPÉRIENCE DU 8 JUIN 1925 (voir fig. 21)

Nerf radial. Seuil du long extenseur du pouce. — Le bain arrive le moins haut que possible au dessus du coude. L'électrode est placée aussi haut que possible, à la pointe du V deltoïdien, où l'excitation du radial est possible sur la face externe du bras. Le bain affleure obliquement et sa limite supérieure arrive à 9 cm au dessous de l'électrode sur la face externe du bras.

Après le bain, la ligne horizontale passant par la limite supérieure de la rougeur est à 6 cm au dessous de l'électrode.

Excitabilité mesurée pendant le bain.

Durée du bain 41 minutes.

Temps	Phobase	Chronaxie en 1/1000 de Seconde	Contraction.	Temps de la phase et du bain.	Phénomènes Généralisés
avant le bain froid.	5 mA, 8	0,72	—	Bain 38° H	—
Bain local 18°	5 mA, 1	0,64	—	Bain 10°	—
H. après le début	5 mA, 2	0,72	—	Bain 11°	—
6'	—	0,64	—	—	—
8'	11 mA, 5	0,64	—	Bain 50°	—
10'	11 mA, 7	0,64	—	—	—
12'	11 mA, 7	0,64	—	Bain 35°	—
14'	11 mA, 55	0,64	—	—	—
17'	11 mA, 6	0,64	—	—	—
Long Extension au Pouce au point moteur.					
20'	2 mA, 5	1,08	Peut rif, mais en laissant passer au secant au a du galvanotomo - avec le pôle + on voit le pas l'extension, mais la flexion du pouce.	Bain 65°	—
Long Extension par excitation longitudinale					
—	3 mA, 5	1,08	Contraction lente et galvanotomique.	—	—
26'	7 mA, 2	0,148 <i>Chronaxie</i> <i>de l'exc.</i>	—	Bain 65°	—
33'	7 mA, 2	1,08	—	Bain 65°	—
37'	7 mA, 2	0,72	La contraction par l'exc. est légèrement saluée.	Bain 22°	—
41'	—	—	Boche du Bain. 12 H 6.	Peu à 22° au niveau de l'excitation	—

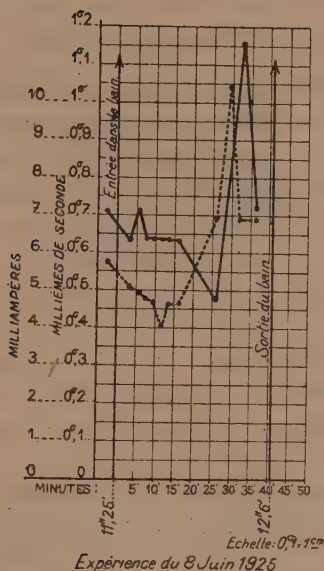


Fig. 21. — Refroidissement de l'avant-bras. — Sujet normal.
Nerf radial, seuil de l'extenseur du pouce.

Dans la première expérience la chronaxie a monté jusqu'à un maximum ne dépassant pas deux fois sa valeur initiale, elle ne tombe pas complètement à sa valeur normale à la fin du bain.

Dans la deuxième expérience elle a peu bougé.

Donc en plaçant l'électrode sur le nerf radial, très haut au dessus du niveau de l'eau, on ne trouve pas de changement dans la valeur de la chronaxie.

Dans la première expérience (15 mai 1925), il y a une légère augmentation de la chronaxie du nerf, mais ici on a eu, un léger degré de refroidissement de la peau au dessus du niveau de l'eau. De même, l'électrode était placée sur le nerf beaucoup plus bas.

C. — 2. ELECTRODE PLACÉE TRÈS AU DESSUS DU NIVEAU DE L'EAU
(creux sus-claviculaire)

Dans le creux sus-claviculaire on trouve un point situé un peu en avant et un peu au dessous du point d'Erb, dont l'excitation donne des contractions dans le triceps, le court supinateur, l'extenseur de l'index et le court extenseur du pouce. Avec un léger déplacement de l'électrode on arrive à exciter isolément l'un ou l'autre de ces muscles.

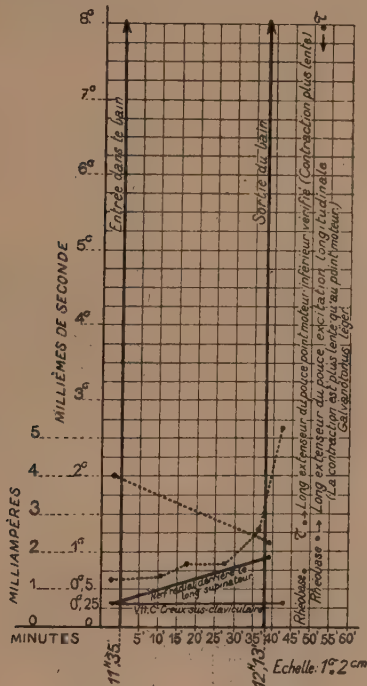
EXPÉRIENCE DU 22 JUIN 1925 (voir fig. 22)

Dans cette expérience on a excité la VII cervicale dans le creux sus-claviculaire.

Seuil de l'extenseur de l'index et du court extenseur du pouce.

Point Excité	Tempo	Réobase	Chronaxie en 1/1000 de seconde	Contraction.	Température de la peau et du Bain	Phénomènes Généraux
Point Cervicale dans le creux sus-claviculaire. L'excitation est donnée par la main gauche. L'excitation est donnée par la main droite.	Réobase bain Bain à 18° 11 après le début 15° 25° 35° 45° 5 après la sortie	1 m.A. 3 1 m.A. 4 1 m.A. 6 1 m.A. 75 2 m.A. 6 5 m.A. 3	0,52 0,52 0,52 0,52 0,52 0,52 0,52	— — — — — — — du Bain. 600 ¹⁰ La contraction est vive.	Bain 28° dans le creux Bain 18° — — — — —	— — — — — — — La main est très rigide très près aux doigts — — — Le point excite une contraction de front global
Point radial	Réobase bain (6000 u) après l'autre dans le bain (1 après la sortie)	1 m.A. 7 2 m.A. 3	0,52 0,51	— —	— —	— —
Long extenseur du poignet joint avec le long supinateur inférieure rétro.	après la 11 sortie du bain.	1 m.A. 5	1,10	Contraction plus lente.	—	—
Long extenseur du poignet joint avec le long supinateur inférieure rétro.	après la 11 sortie du bain.	2 m.A. 4	0,5	La contraction est plus lente qu'au point moteur. Galvanisme léger.	—	—

Pendant toute la durée du bain (37 minutes), on n'a enregistré aucune modification de la valeur de la chronaxie.



Expérience du 22 Juin 1925

Fig. 22. — Refroidissement de l'avant-bras droit. — Sujet normal. — Excitation de la VII^e cervicale dans le creux sus-claviculaire, seuil de l'extenseur de l'index et du court extenseur du pouce.

Dans cette expérience, la chronaxie du nerf n'a pas varié pendant toute la durée du bain froid local, mais en suivant la marche de la variation de la chronaxie sur le tableau et sur le graphique, on constate que la chronaxie du nerf non modifiée dans le creux sus-claviculaire, présente une légère

augmentation (0,84) derrière le long supinateur. D'autre part le long extenseur du pouce, dont la chronaxie au point moteur inférieur a augmenté de 0,32 à 1,40, présente par excitation longitudinale une chronaxie très augmentée (8g).

EXPÉRIENCE DU 29 JUIN 1925 (Voir tableau ci-dessous)

Refroidissement de l'avant-bras droit. — Excitation de la VII^e cervicale dans le creux sus-claviculaire, seuil du court supinateur. — Durée du bain 45 minutes.

Group Dexté.	Temps	Réobase	Chronaxie en 1/1000 de seconde	Contraction.	Température de la Peau et du Bain	Phénomènes Généraux
VII. C. dans le creux sus-claviculaire à droite seuil du court supinateur	Avant le bain Bain à 11° 54'	0 m.A. 7	0,10 - 0,22 h	on a fait plusieurs mesures concordantes	Peau 36° Bain 14° 5'	—
	2 après le début	0 m.A. 7	0,22 h	—	—	—
	6'	0 m.A. 7	0,22 h	—	—	—
	8'	0 m.A. 65	0,22 h	—	—	—
	11'	0 m.A. 6	0,22 h	—	—	—
	22'	0 m.A. 6	0,20	—	—	—
	31'	1 m.A. 7	0,22 h	—	—	—
VII. C. dans le creux sus- claviculaire à gauche	40 —	1 m.A. 2	0,22 h	—	—	—
Court supinateur point moteur inférieur à gauche.	15 après l'entrée dans le bain	3 m.A. 7	0,32	—	—	—
	16'	3 m.A. 7	0,32 h	—	—	—
	27'	2 m.A. 9	0,32 h	—	—	—
	30'	2 m.A. 85	0,32 h	—	—	—
	32'	2 m.A. 7	0,32 h	—	—	—
	45'	2 m.A. 7	0,32 h	—	—	—
	à 12° 45'	2 m.A. 6	8 h	—	—	—
Court supinateur gauche.	à 12° 45'	2 m.A. 45	1,6 h	—	—	—

Sortie du Bain: 12° 33'

*Température
de la peau
dans le creux
sus-claviculaire
35°.*

J.B.
1925

Dans cette expérience, comme dans celle du 22 juin 1925, la chronaxie du nerf n'a pas varié, mais du côté gauche (côté non refroidi, on constate une légère augmentation de la chronaxie du court supinateur au point moteur, pendant le bain et après la sortie du bain (phénomènes de répercussion).

On peut résumer ainsi les résultats des expériences de refroidissement par l'excitation du nerf :

Très au dessus du niveau de l'eau, pas de modifications de la chronaxie; au dessous du niveau de l'eau, pendant le bain, la chronaxie commence par diminuer légèrement d'une quantité égale à la moitié de sa valeur initiale, puis monte jusqu'au double de sa valeur avant le bain, puis redescend. A la sortie du bain elle augmente plus que pendant le bain sans dépasser une valeur égale à quatre fois sa valeur primitive, puis, comme pendant le bain, elle retombe à la normale.

Entre ces deux extrêmes des conclusions précises sont difficiles à donner, les légères variations de la chronaxie rentrant dans les limites des erreurs d'expériences.

B. — EVOLUTION DE L'EXCITABILITÉ DES MUSCLES DU CÔTÉ OPPOSÉ AU CÔTÉ REFROIDI, PENDANT LE BAIN ET APRÈS LE BAIN

En suivant la chronaxie du côté opposé, après le bain, nous avons observé des variations parallèles à celles que nous venons de voir, mais moins importantes. Nous avons aussi observé des variations du côté opposé pendant le bain. Elles sont beaucoup plus importantes qu'après le bain. Ces variations du côté opposé sont plus difficiles à interpréter que celles que M. Bourguignon et H. Laugier ont observé dans les expériences de compression (1). En effet, ici, la circulation n'est interrompue à aucun moment. Il en résulte qu'il est difficile de dire ce qui peut revenir aux produits transportés et à l'action nerveuse. D'autre part, depuis longtemps, Brown-Séquard a montré qu'en refroidissant un membre, il se produit des phénomènes vaso-moteurs du côté opposé dont l'effet est de

(1) G. Bourguignon et H. Laugier. — C. R. Soc. de Biol., t. LXXXVIII, p. 265, 3 février 1923, et G. Bourguignon et H. Laugier, C. R., ac. des sciences.

refroidir aussi le côté opposé. Il y a donc une action indirecte du froid sur le côté opposé.

Voici une expérience-type sur les variations de la chronaxie du côté opposé pendant et après le bain froid local.

TEMPS ÉCOULÉ DEPUIS LA SORTIE DU BAIN	RHÉOBASE	CHRONAXIE EN 1/1000 DE SECONDE	CONTRACTION	TEMPÉRA- TURE LOCALE	PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX
4' . . .	1 mA,95	1 σ ,08	Légère lenteur . . .	21°,2	Sensation de chaleur dans les doigts et de grand froid au coude.
7' . . .	1 mA,25	2 σ ,24	Lenteur augmente . . .	21°,8	
12' . . .	0 mA,9	10 σ ,40	Lenteur . . .		
13' . . .	0 mA,9	7 σ ,2	Lenteur diminue . . .		
15' . . .	0 mA,9	6 σ ,8	Lenteur à peu près semblable	22°,8	
17' . . .	1 mA	6 σ ,2		23°,2	Chaleur au coude.
19' . . .	1 mA	1 σ ,76	Contract. plus vive.	23°,5	
			Galvanotonus léger.		
23' . . .	1 mA,1	3 σ ,20	Galvanotonus net . . .		
26' . . .	1 mA,6	0 σ ,84	Galvanotonus pres- que disparu	24°,5	
28' . . .	1 mA,6	0 σ ,52	Galvanotonus mi- nime		
30' . . .	2 mA,4	0 σ ,44	Contraction vive . . .		

EXPÉRIENCE DU 26 JUIN 1922 (voir fig. 23)

Refroidissement de l'avant-bras droit. — Extenseur commun gauche (faisceau du 4^e doigt). Point moteur supérieur.
— Mêmes conditions d'expérience que précédemment. — Durée du bain 47 minutes.

Température locale de la peau un peu au dessus et en dehors du point moteur supérieur de l'extenseur commun avant le bain :

Côté droit 31°4
Côté gauche 30°9

Chronaxie mesurée avant l'expérience, à gauche : rhéobase 2 mA,2 T=0 σ ,68.

La contraction est restée vive à gauche pendant toute l'expérience.

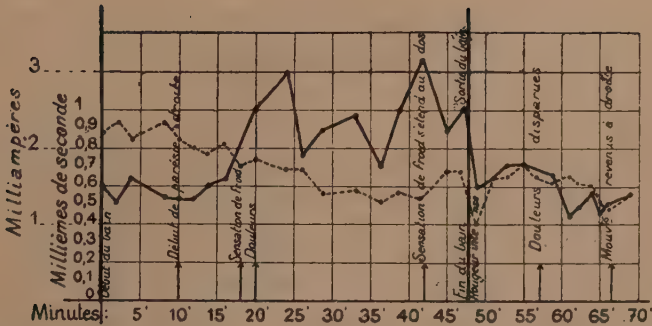


Fig. 23. — Expérience de refroidissement. — Sujet normal. — Evolution de la chronaxie du côté opposé (côté gauche) au côté refroidi (côté droit) pendant et après le bain froid local. Point moteur supérieur de l'extenseur commun des doigts (faisceau du 4^e doigt).

Expérience du 26 juin 1922.

Ainsi, du côté gauche, pendant le refroidissement à droite, la chronaxie commence à augmenter à partir de la 14^e minute. La rhéobase, au contraire, diminue. La chronaxie a doublé sa valeur à la 24^e minute. Ensuite, elle redescend un peu et oscille autour de 1, jusqu'à la sortie du bain. C'est à peu près à partir du moment où la parésie apparaît à droite que la chronaxie commence à augmenter à gauche.

A la sortie du bain, brusquement, en même temps que la peau du côté refroidi devient très rouge, la chronaxie retombe à la normale. Puis elle augmente un peu, mais si peu qu'on pourrait douter de la réalité de cette élévation si elle ne s'était pas montrée constamment dans toutes nos expériences.

Au bout de 10 minutes, elle diminue et reprend sa valeur primitive pour y rester. La rhéobase oscille pendant tout ce temps, mais elle n'est pas encore revenue à la normale au moment où on a arrêté l'expérience, 22 minutes après la sortie du bain.

D. — INTERPRÉTATIONS

Nous avons vu, dans ce qui précède, que le refroidissement modifie l'excitabilité neuro-musculaire dans le sens de l'augmentation. La grandeur de ces modifications de l'excitabilité, mesurée par la valeur de la chronaxie, a été signalée après chaque expérience et illustrée dans les tableaux et les graphiques.

Un court résumé à la fin des expériences faisait constater les résultats obtenus.

Avant de discuter le processus intime de ces troubles de l'excitabilité neuro-musculaire, causés par le froid, nous tenons à signaler un fait assez important que nous avons observé au cours de nos expériences.

Dans la première partie de ce travail, nous avons mentionné en son lieu *la loi de l'isochronisme* du muscle et de son nerf moteur. Pour qu'un muscle puisse répondre par une contraction à l'excitation de son nerf moteur, il est nécessaire que la chronaxie du muscle soit égale à celle du nerf. Des variations de chronaxie légères et réciproques du système nerf-muscle, mais seulement dans le rapport de 1 à 2 permettent encore le fonctionnement normal de ce système, c'est-à-dire que si les valeurs de la chronaxie, soit du nerf, soit du muscle, varient, ces variations ne doivent pas dépasser deux fois la valeur normale pour que l'excitation du nerf soit efficace. Le fonctionnement normal du système *nerf-muscle* n'est compatible qu'avec un *isochronisme* parfait de leurs chronaxies, cependant un *léger hété-*

rochronisme dans les limites du rapport de 1 à 2 permet encore ce fonctionnement.

Or, au cours de nos expériences nous avons maintes fois constaté des réponses des muscles ralentis à l'excitation de leur nerf avec chronaxie normale.

Comment interpréter ces faits ?

Dans ces cas, la valeur de la chronaxie du muscle excité par son nerf, peut dépasser 10 à 15 fois sa valeur, le nerf ayant une chronaxie normale. Il y a donc un grand *hétérochronisme* et pourtant le système nerf-muscle fonctionne. De deux choses l'une, ou bien la *loi de l'isochronisme* est en défaut, ou bien l'hétérochronisme constaté n'est qu'apparent. Il faut remarquer que dans différentes expériences nous avons constaté une variation échelonnée de la chronaxie depuis le nerf jusqu'au muscle.

Dans l'expérience du 22 juin, par exemple, nous avons constaté les variations suivantes :

Nerf radial par l'excitation de la VII^e cervicale dans le creux sus-claviculaire 05,32, nerf radial derrière le long supinateur 05,84, excitation du long extenseur du pouce au point moteur inférieur 10,40, excitation longitudinale du même muscle 85. Le rapport des chronaxies successives ne dépasse jamais 2. La loi de l'isochronisme est donc respectée d'une zone considérée à l'autre. Avec M. Bourguignon nous pensons que depuis le nerf non modifié dans la valeur de sa chronaxie, jusqu'au muscle dont la chronaxie est très augmentée, il y a tout le long du nerf des modifications de la chronaxie d'autant plus grandes qu'on se rapproche davantage du muscle, mais sur les différents segments du nerf, les modifications de la chronaxie sont de

telle grandeur, que le rapport de 1 à 2 n'est pas ou presque pas dépassé. Dans ce cas la transmission de l'excitation se fait graduellement d'un segment à l'autre et le muscle peut répondre par une contraction. Il y a en somme une transmission échelonnée.

D'ailleurs dans des observations encore inédites au cours de la régénération des nerfs, M. Bourguignon a constaté le même fait et en donne la même explication.

Naturellement nous ne considérons pas la question définitivement jugée et nous nous proposons des expériences complémentaires dans le but de rechercher si d'autres hypothèses permettraient d'expliquer ce fonctionnement très hétérochrone quand on considère le nerf très loin du muscle.

Quant au mécanisme intime de l'action du froid sur l'excitabilité neuro-musculaire, on peut invoquer deux théories : ou bien on attribue tout le rôle aux modifications quantitatives des différentes substances du plasma sanguin constatées par Dautrebande (1) ou bien on laisse le rôle principal aux vaso-moteurs. Il est hors de doute que les vaso-moteurs jouent et jouent beaucoup dans nos expériences. La rougeur de la peau à l'entrée du bain froid, les marbrures constatées, la pâleur de la peau à certains moments, la rougeur de la peau encore plus grande à la sortie du bain, tous ces phénomènes objectifs sont du ressort des vaso-moteurs. Quand la peau rougit la chronaxie augmente,

(1) Lucien Dautrebande. — De l'influence des bains froids locaux sur l'équilibre acide-base du sang. — C. R. Soc. Biologie, T. XCI, 1924, page 94.

quand elle devient moins rouge la chronaxie diminue et pour ces faits on peut invoquer le rôle de l'oxygène et de l'acide carbonique comme dans les expériences de Bourguignon et Laugier sur la compression (2). Pendant la rougeur il y a afflux d'oxygène et la chronaxie augmente, le contraire a lieu quand il y a augmentation de l'acide carbonique, c'est-à-dire asphyxie par resserrement des vasomoteurs ou comme dans les expériences sur l'apnée voltaire de Bourguignon et Holdane (3).

Le rôle des éléments sanguins modifiés par le froid peut être soutenu dans le cas de modification de la chronaxie du côté opposé au côté refroidi. On peut invoquer ici le transport de ces produits par la circulation. Mais dans ce cas, pourquoi ces produits iraient-ils se localiser sur une partie symétrique ? Cette question pourra être jugée par la recherche de modifications éventuelles de la chronaxie dans des régions non symétriques.

Les modifications de la chronaxie du côté opposé peuvent être expliquées par les phénomènes de répercussion de neurone de même chronaxie, phénomènes de répercussion étudiés par M. Bourguignon en pathologie, et qui ont apporté une vérification expérimentale à l'hypothèse de L. Lapique sur le fonctionnement général du système nerveux réglé par l'harmonie des chronaxies.

Nous pensons qu'il faut plutôt être éclectique et considérer que les modifications du plasma sanguin ainsi que les

(2) Bourguignon et Laugier. *Loc. cit.*

(3) G. Bourguignon et J.-B.-S. Holdane. — Ac. de Sciences, T. 180, p. 321, 26 janvier 1925.

vaso-moteurs ont tous les deux leur rôle dans les modifications de l'excitabilité neuro-musculaire causées par le froid.

Un fait pathologique quasi expérimental semble confirmer cette manière d'envisager la question.

Après les expériences de 1925, une colique hépathique et des troubles de la santé générale survenus sans cause apparente m'ont fait voir et sentir que j'étais un insuffisant hépathique. Or, quand en janvier 1929 nous avons repris nos recherches, des symptômes morbides survenus vers la fin de février m'ont obligé de cesser les expériences de refroidissement. Les deux dernières expériences où je me suis prêté comme sujet d'étude ont provoqué les troubles suivants : agitation et insomnie pendant la nuit qui suit l'expérience, le lendemain, coliques et diarrhée aqueuse, oligurie, frissonnements, symptômes pathologiques cessant brusquement deux jours après.

Or, rien dans mon régime habituel ne pouvait expliquer ces symptômes que j'attribuais tout simplement à une mauvaise élaboration hépathique des produits du déchet sanguin dû au froid.

Donc, il y a des substances modifiées dans le sang qui, normalement, sont bien élaborées et éliminées, mais qui, sur un organisme déficient donnent naissance aux symptômes d'intoxication.

D'autre part, nous étions étonnés, M. Bourguignon et moi, à la lecture des courbes dressées pour suivre la marche de la chronaxie dans nos expériences, que les courbes de 1929 n'avaient pas du tout la même allure que celles de 1925.

En regardant de près, j'ai constaté que mes graphiques de 1925 (avant mes troubles de la santé attribués au foie) ressemblaient comme forme et grandeur de la variation de la chronaxie, aux courbes des expériences faites sur un autre sujet (M. Greif), en 1929, mais différaient sensiblement des courbes des expériences faites sur moi en 1929. Or rien n'avait été changé, ni dans la technique, ni dans les conditions expérimentales. La cause ne pouvait pas donc être trouvée, que sur le sujet en expérience et alors j'ai pensé à mon foie.

Les graphiques de mes expériences de 1929 montraient une légère modification de la chronaxie ou pas de modifications du tout.

Le foie a non seulement un rôle antitoxique, mais aussi un rôle dans la régulation thermique de la chaleur animale. rôle rempli sans doute aussi par l'intermédiaire des vasomoteurs.

J'avais l'impression que mon foie insuffisant allait à l'assaut impétueusement comme tout organe affaiblit et qui se défend, mais qu'après, très fatigué, il remplissait mal son rôle antitoxique, d'où mes troubles qui m'ont obligé de cesser momentanément les expériences.

Cette interprétation nous paraissant d'importance, nous nous proposons des expériences chez l'animal après avoir provoqué des insuffisances organiques expérimentales.

Conclusions

Des expériences que nous venons d'exposer on peut tirer les conclusions suivantes :

1° Le refroidissement de la main et de l'avant-bras et du tiers inférieur du bras, dans un bain d'eau froide maintenue entre 5° et 10°, produit d'importantes modifications de la chronaxie et de la rhéobase, tant du muscle que du nerf.

2° La chronaxie du muscle excité par son point moteur augmente notablement pendant le bain jusqu'à 15 à 20 fois sa valeur initiale. Cette augmentation ne dure pas indéfiniment et, malgré la prolongation du séjour dans l'eau froide, la chronaxie diminue et revient sensiblement à sa valeur normale qu'elle conserve tant que dure le bain.

A la sortie du bain, après avoir eu la même valeur qu'à la fin du bain, la chronaxie subit une nouvelle augmentation, variable, mais toujours nette et pouvant atteindre une valeur voisine de la valeur maxima atteinte pendant le bain.

3° Des quelques mesures que nous avons faites par excitation longitudinale il ressort que, pendant le bain la chronaxie ainsi mesurée augmente un peu plus qu'au point moteur et reste augmentée alors que celle du point moteur redescend.

A la sortie du bain, la chronaxie est augmentée par excitation longitudinale comme au point moteur.

4° Sur le nerf excité à 2 cm - 4 cm au dessous du niveau de l'eau, pendant le bain, la chronaxie commence par diminuer légèrement jusqu'à la moitié de sa valeur au maximum puis augmente, mais ne dépasse jamais le double de la valeur normale. Ensuite, comme au point moteur, elle diminue et revient sensiblement à sa valeur normale.

A la sortie du bain, elle subit une nouvelle augmentation plus importante que pendant le bain en général, sans dépasser toutefois quatre fois la valeur normale. Les variations de la chronaxie du nerf à ce niveau sont donc beaucoup moins importantes que celles de la chronaxie du muscle.

5° Quand on étudie le nerf loin au dessus du niveau de l'eau, dans le creux sus-claviculaire par exemple, la chronaxie et la rhéobase restent invariables, dans les limites des erreurs d'expériences.

6° Dans toutes ces expériences, la rhéobase suit une marche inverse de celle de la chronaxie, comme il est de règle.

7° L'augmentation de la chronaxie des muscles pendant le bain s'accompagne de ralentissement important de la contraction et de troubles parétiques et sensitifs douloureux.

Lorsque la chronaxie diminue pendant le bain, les phénomènes douloureux s'atténuent.

8° Les variations de la chronaxie sont donc beaucoup plus importantes pour le muscle que pour le nerf, au niveau où celui-ci a été excité.

Il est remarquable de voir le nerf normal très au dessus

de l'eau donner une contraction lente et exciter un muscle d'une chronaxie beaucoup plus grande que la sienne.

Il est légitime de penser que la chronaxie du nerf, déjà augmentée à 2 cm au dessous du niveau de l'eau, augmente davantage en se rapprochant du muscle. Le refroidissement de la peau est d'ailleurs beaucoup plus important sur l'avant bras que sur le bras à 2 cm au-dessous de l'eau.

Il est donc logique d'expliquer la conservation de l'excitabilité indirecte du muscle malgré le grand hétérochronisme constaté, par l'augmentation échelonnée de la chronaxie du nerf depuis ses portions situées bien au dessus de l'eau, jusqu'à ses terminaisons intra-musculaires.

9° L'étendue des variations de la chronaxie des muscles dépasse celle que produirait la seule action directe du refroidissement, d'après les expériences de L. Lapicque et Filon (1).

En rapprochant ces résultats des expériences de G. Bourguignon et Laugier, sur la compression, il semble bien qu'il faille rapporter la variation de chronaxie aux troubles vasomoteurs que produit le refroidissement.

La chronaxie augmente quand la peau rougit, c'est-à-dire quand il y a afflux d'oxygène, elle diminue quand la peau pâlit, c'est-à-dire quand il y a excès d'acide carbonique : c'est exactement ce qui se passe dans la compression et la décompression et dans l'hyperpnée volontaire. (Bourguignon et Laugier, Bourguignon et Haldane).

(1) *Loc. cit.*

10° La chronaxie du côté opposé évolue parallèlement à celle du côté refroidi, mais à un degré moindre.

Pendant le bain, la chronaxie du point moteur du côté opposé augmente, puis diminue et augmente de nouveau à la sortie du bain, sans atteindre une valeur aussi grande que pendant le bain.

Ces faits sont d'accord avec les anciennes expériences de Brown-Séguar sur les troubles vaso-moteurs du côté opposé au côté refroidi.

Leur mécanisme est difficile à interpréter. Il doit y avoir à la fois une action de répercussion par la voie nerveuse et une action directe par les produits venant du côté refroidi et transportés par la circulation.

11° Sur ces expériences on pourra peut-être baser une épreuve intéressante permettant d'étudier la vaso-motricité en pathologie.

Vu, le Doyen :

ROGER.

Vu, le Président :

GUILLAIN.

Vu et permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

CHARLETY.

